

A gravitációs és mágneses anomáliák átfogó értelmezése a Kárpát–Pannon-régióban

Kiss János

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 1143. Budapest, Stefánia u. 14.
kiss.janos@mfgi.hu

Comprehensive interpretation of gravity and magnetic anomalies in Carpathian–Pannonian Region

Abstract

Geophysical anomaly can only be found where there is some-kind of change. Such change may be the variation of the physical parameter, the depth, or the spatial distribution. If there is no change, the field strength is also unchanged; it is a constant value without any anomalies. The Bouguer anomaly map shows the gravity effect of the changing rock density in a vertical extent of several tens of kilometres, because gravity is a long distance and always attractive force. So the Bouguer anomaly of a small exploration area will have some gravity effect of the deep crust too, even if we do not take it into account.

Magnetic anomalies are caused by mafic geological formations. These are the mafic magmatic rocks and their transformed metamorphic variants. The magnetic force may have both attractive and repulsive character (generally it is a dipole field), so the result of these strengths yields a much more complicated anomaly field. The penetration in this case is a few tens of kilometres, right down until the depth of the Curie-temperature. Geophysical interpretations are generally done in the range of the borehole's penetration, although, some effects have obviously deeper origin. So the examination of bigger depth and elimination of deep effects are essential to have more accurate local interpretation of the geophysical measurements. Studying the area of Hungary requires knowledge about such deep effects in the entire Carpathian–Pannonian Region.

Keywords: *Carpathian-Pannonian Region, exploration of crust, regional geophysical interpretation, gravity and magnetic anomalies*

Összefoglalás

Geofizikai anomália csak ott jelentkezik, ahol változás van. Változás a fizikai paraméterben, a mélységben, vagy az elterjedésben. Ha nincs változás, akkor a fizikai erőter sem fog változni, hanem konstans értékű lesz, és nem lesznek anomáliák.

A Bouguer-anomália térkép a többször tíz kilométeres mélységtartomány gravitációs hatását (sűrűségeloszlását) mutatja, ez abból adódik, hogy a gravitációs erő roppant nagy hatótávolságú és mindig vonzó kölcsönhatás. Így a legkisebb részterület vizsgálatakor is a kéreg felépítéséből, vastagságából származó mélybeli hatás ott van a mérési anyagban, még akkor is, ha nem veszünk róla tudomást.

A mágneses anomáliákat a bázisos földtani képződmények okozzák. Ezek lehetnek bázisos magmás, vagy ezek átalakulásából képződött metamorf kőzetek. A mágneses erő lehet vonzó és taszító jellegű is (általában dipólus erőter), így ezen erők eredője egy sokkal bonyolultabb anomáliateret eredményez. A behatolási mélység azért ebben az esetben is néhány száz tíz kilométer körüli, egészen a Curie-hőmérséklet¹ mélységéig.

A geofizikai értelmezések általában a mélyfúrásokkal elérhető tartományig merészkedtek, noha a hatások egy része nyilvánvalóan mélyebben keresendő. Elengedhetetlen tehát a nagyobb mélységek vizsgálata és hatásainak kiszűrése, a geofizikai mérések pontosabb, lokális értelmezéséhez. Magyarország vizsgálatához tehát ismerni kell a Kárpát–Pannon-régió léptékű mélybeli hatásokat is.

Tárgyszavak: *Kárpát–Pannon-régió, kéregkutatás, regionális geofizikai értelmezés, gravitációs és mágneses anomáliák*

Bevezetés, előzmények

A földtani kutatásban szerteágazóan használjuk a különböző geofizikai adatokat. Segítségükkel információkhoz juthatunk a fedett, mélybeli képződmények helyzetéről, azok fizikai paraméterein keresztül.

A fizikai erőkterek vizsgálata a földtani értelmezések során a nyersanyagkutatásban, a szerkezetkutatásban vagy éppen a vízföldtani kutatásokban mindennapos gyakorlatnak számít. Az értelmezés során mindig az ismerttől haladunk az ismeretlen felé. A rejtett összefüggések felismerése egyre pontosabb földtani értelmezésekhez vezet. Sokszor egy adott probléma megoldása csak újabb, részletesebb geofizikai mérések vagy éppen nagyobb területek mérési adatainak áttekintő értelmezésével érhető el. Lokális geofizikai értelmezési probléma megfigyeltetéséhez esetenként a regionális földtani (–geofizikai) felépítés adja meg a kulcsot. Jelen tanulmány is ilyen esetek bemutatásáról szól.

A magyarországi elsősorban gravitációs, de mágneses geofizikai adatok értelmezése során is hosszú évekig úgy tűnt, hogy az ismert földtani felépítés, és a mérésekből kirajzolódó geofizikai anomáliaterületek ellentmondásainak feloldására nincs lehetőség, pontosabban, nincs rá elegendő földtani információ. Ez természetesen korlátozta a geofizikai módszerek alkalmazási lehetőségeit, és gondot jelentett az értelmezések során, így sokszor gondolhattuk azt, hogy a geofizika nem alkalmas a földtani feladat megoldására.

Ilyen ellentmondások például a következők:

1. Mélyfúrási adatok alapján az üledékek medencealjzatának domborzata és a Bouguer-anomália görbe eltérő menete.

Ez azt az esetet példázza, amikor negatív korreláció tapasztalható a medencealjzat és a gravitációs Bouguer-anomália görbe menete között. Egy olyan ismeretlen gravitációs hatás van, ami a medencealjzat lefutásának megfelelő Bouguer-anomália menetét felülírja, akár ellentétesre is változtatja.

2. Mély üledékes medencék felett tapasztalt gravitációs maximumok.

A Bouguer-anomália értékei, és a medencealjzat lefutása között a Pannon-medencében gyakran pozitív korrelációt figyelhetünk meg. Ez a korreláció azonban a medencealjzat elmélyülésével eltűnik, ráadásul a medencék közepén olyan gravitációs maximumok jelennek meg, amelyeknek földtani eredete ismeretlen.

3. Nagy amplitúdójú gravitációs minimumok a Közép-magyarországi-zónában.

Olyan nagy Bouguer-anomália minimumok vannak a zóna mentén, amelyeket a medencealjzat és a fedőüledékek között fennálló sűrűségkontrasztal nem nagyon lehet megmagyarázni (modellezni), azaz nem csak a laza üledékek feltöltött medence (vagy árok) hatása van ebben az esetben jelen, hanem valami ismeretlen, feltehetően mélybeli változás (sűrűségcsökkenés) hatása is.

4. Összefüggő mágneses anomáliapászták a Közép-magyarországi-zóna és részben a Tisza-egység mentén, ott,

ahol a fúrások alapján főleg vulkáni törmelékes összletekről van tudomásunk, amelyek alig mágnesesek.

Az összefüggő és jellegében nagyon hasonló mágneses anomália vonulatokat a mélyfúrásokból ismert neogén vulkáni képződményekkel nem lehet megmagyarázni. Mi okozza a hatást?

A problémákkal az egyes részterületek vizsgálata során kellett szembesülni országsszerte. Ezek a problémák gondot okoztak mindaddig, amíg fel nem ismertük, hogy mi okozza ezeket a hatásokat. A felismerés folyamata persze többlépcsős volt, s ami a jelen tanulmány olvasásakor esetleg triviálisnak tűnhet, az a háttérvizsgálatok, és a háttér adatok nélkül még ma sem állt volna össze egységes egészzé.

Módszerek

A geofizikai módszerek a kőzetek és képződmények fizikai tulajdonságai alapján képezik le a mélybeli földtani felépítést. A gravitációs módszer esetén a földtani képződmények sűrűsége, a mágneses méréseknél pedig, a mágneses tulajdonságok alapján. E módszerek behatolási mélységtartományában jelenlévő változások egyszerre jelennek meg a mérési eredményekben, mivel a hatások összeadódnak.

Az értelmezéskor sokszor az a legnagyobb probléma, hogy nem tudjuk, milyen mélységtartomány hatását látjuk kirajzolódni a paraméterterképeken. A geofizikai potenciálméter-elmélet alapján azonban a különböző mélységű hatások szétválaszthatók.

Gondot jelenthet, hogy véges felszíni információforrásaink alapján próbáljuk megfigyeltetni a mélybeli felépítést, amelyet a geofizika mutat, és ez ellentmondásokhoz vezet. Feltételezve, hogy méréseink pontosak, a geofizikai mérési eredményekben a mélybeli felépítést látjuk a fizikai paraméterek szemüvegén keresztül. Sokszor olyan képződmények hatását, amiről földtani értelemben még nem is tudunk. Rajtunk áll, vagy bukik, mennyire tudjuk a geofizikát megfigyeltetni–összehozni a meglévő földtani ismeretekkel, s kijelölni vagy pontosabban meghatározni az új, ismeretlen eredetű mélybeli hatásokat.

Ehhez a munkához az új gondolatok és értelmezések részben a mélybeli felépítés egyre pontosabb megismerésének köszönhetően (pl. Moho mélységtérkép [MITUCH & POSGAY 1972, POSGAY et al. 1991, HORVÁTH 1993], vagy Pannon Geotraverz mérési eredményei [POSGAY et al. 1995a, b; KOVÁCSVÖLGYI 1995, 1997]), részben nemzetközi programok (pl. DANREG-program [NEMESI et al. 1995]) keretében végzett, országhatárokon túlnyúló értelmező munka eredményeképpen kezdtek kibontakozni.

Gravitációs szempontból KOVÁCSVÖLGYI Sándor értelmezései (mélybeli hatások felismerése a PGT–1 szelvény mentén, a DANREG területén és a Bükk–Szendrői-hegység vonatkozásában), majd SZABÓ & PÁNCICS (1999) vizsgálatai (a gravitációs adatok és a szeizmikus Moho szint közötti korreláció felismerése), valamint SZAFIÁN et al. (1997, 1999), SZAFIÁN & HORVÁTH (2006) gravitációs modellezési

eredményei vezettek a továbbblépéshez. Ezek azt mutatták, hogy az 1-es számú sűrűség-határfelület (medencealjzat) alatt van egy 2-es számú határfelület is, a Moho (kéreg-köpeny-határfelület), amelynek hatása jelen van, sőt néha döntően befolyásolja² a magyarországi gravitációs anomáliaképet.

Kezdetben az ellenőrzésekhez, és a feldolgozásokhoz nem álltak rendelkezésre azok az adatok (egy része titkos volt) és eszközök (speciális feldolgozó programok, amelyek a számítástechnika még nem volt eléggé fejlett), amelyekkel ma már rendelkezünk.

A gravitációs és mágneses térképi formaelemek sok mindent elárulnak, de ehhez szükséges a térképi adatok sokoldalú elemzése és a lehetséges földtani folyamatok és képződmények ismerete. A fizikai paraméterben, vagy települési mélységben megjelenő változás (amely méréseink összegzésekor térképi formaelemként képeződik le) jellemzi a hatót (amely földtani képződménytől az anomália származik) és annak a környezetével való kapcsolatát (pl. milyen hatások, milyen mozgások hozták létre, emelték ki, vagy változtatták meg fizikai tulajdonságát). A vizsgálatokhoz csak megfelelő adatrendszer és alapos feldolgozási, értelmezési munka kell.

A sokoldalú módszertani vizsgálatok (spektrálanalízis³, frekvenciatartománybeli szűrések⁴, mélység-meghatározások, szelvény menti modellezések, közetfizikai vizsgálatok) és az országhatáron túli, tágabb környezet geofizikai adatai (a Kárpát–Pannon-régió gravitációs és mágneses anomália térképe) nélkül ma sem tudnánk a bevezetőben felsorolt ellentmondásokkal mit kezdeni. Magyarországon is jelentkező mélybeli hatásokat csak egy nagyobb terület, pl. Kárpát–Pannon-régió, adatainak vizsgálatán keresztül lehet felismerni.

Közép-Európa térképező geofizikai adatai

Az európai területek nagy adatgyűjtő projektjei (West–East Europe Gravity Project — WEEGP vagy European Mediterranean Magnetic Project — EMMP), az európai litoszférakutató programok (Pannon GeoTraverz, POLONAISE '97, CELEBRATION 2000, VRANCEA' 2001, ALP 2002, SUDETES 2003, PANCAKE) mérései és az azok értelmezéséhez végzett adatgyűjtések igényelték a térképező geofizikai mérések, például gravitációs és mágneses adatok összegyűjtését és egységesítését. Ez nagy területek összes mérési adatának egyszerre történő feldolgozását, relatív mérések esetében az azonos vonatkoztatási szintre emelést jelentette. Az első esetben a Leedsi Egyetem (Derek FAIRHEAD vezetésével), a második esetben, a projektekben résztvevő országok munkacsoportjai (pl. a CELEBRATION 2000 gravitációs munkacsoport Miroslav BIELIK vezetésével) vállalták fel az adatok gyűjtését és feldolgozását (BIELIK et al. 2006).

Az adatok gyűjtése természetesen nem volt zökkenőmentes. Az egységesítés első próbálkozásai 1990–2000 között történtek, de a 90-es évek változásai után létrejött új

közép-, és kelet-európai országokban (pl. a volt Jugoszlávia területén) akkor még nem alakultak meg a megfelelő országos (geológiai) szervezetek, illetve esetenként még saját területük adataival sem rendelkeztek, így a kezdeti próbálkozások csak adathiányos térképeket szültek.

A litoszférakutató projektek esetében csak a résztvevő országokkal lehetett számolni, így teljes térképi fedettséget elérni ebben az esetben is nagyon nehéz volt.

Mára ezek az európai kontinenst lefedő geofizikai térképek szinte teljes fedettséggel elkészültek, azonban nem elsősorban az együttműködésnek, hanem sokkal inkább a pénztőkének köszönhetően (egyszerűen megvették az adatokat), így azok nem publikusak, és szabadon (értsd ingyen, a szükséges felbontásban) nem is hozzáférhetőek. Szerencsére a térképek képként publikációkban megjelentek, s ilyen módon valamilyen szinten elérhetővé váltak.

Ma már a Föld globális gravitációs (WGM — World Gravity Map) és mágneses anomália térképe (WDMAM — World Digital Magnetic Anomaly Map) is elérhető, csak ezeknek a térképeknek a térbeli felbontása nem elegendő egy olyan kis ország területének és földtani felépítésének részletes vizsgálatára, mint Magyarország.

A Kárpát–Pannon-régió gravitációs Bouguer-anomália térképe

Az európai gravitációs térkép elkészítésének kezdeti lépéseit SZABÓ Zoltán részletesen dokumentálja az „ELGI története II.” című, az MFGI gondozásában, hamarosan megjelenő kötetben. A lényeg röviden a következő:

„1991-ben a Leedsi Egyetem professzora, Derek Fairhead kezdeményezésére és hat nyugati olajtársaság támogatásával létrejött egy hároméves projekt: West–East Europe Gravity Project (WEEGP). A projekt célja az egész kontinenst lefedő egységes Bouguer-anomália térkép-sorozat elkészítése. A szervezési és kivitelezési munkát a Leedsi Egyetem keretein belül működő, Geophysical Exploration Technology (GETECH) nevű részleg vállalta Derek Fairhead vezetésével. A résztvevő országok delegáltjai 8×8 km adathálózatu térkép megszerkesztését tűzték ki célul. A térkép paraméterei⁵: abszolút IGSN71 gravitációs rendszer, vonatkoztatási szint: WGS-84, korrekciós sűrűség: 2,67 t/m³.

Az ELGI 1992-ben csatlakozott a projekthez a megadott paraméterekkel meghatározott 4×4-km-es rácsba interpolált Bouguer-anomália és topográfiai magasságadatokkal. Ennek fejében 1995-ben megkaptuk a 10 évre bizalmasnak minősített, egységesített térképeket, a Kárpátokat magába foglaló 42°–52° szélességi és 10°–30° hosszúsági koordinátákkal meghatározott területre. A szárazföldre felett komplett Bouguer-anomália, a tengerek felett Faye-anomália értékek szerepelnek a térképeken.”

Ezt a 8×8 km-es adatrendszert⁶ kezdtük el elemezni és vizsgálni a hazai adatokon már kipróbált új feldolgozási eszköztárral (GEOSOFT-programrendszer, nyílt USGS-szoftverek, házi készítésű programok, képfeldolgozási eszközök), amelynek eredményeként megjelentek a Kárpát–

Pannon-régióra elvégzett adatfeldolgozások eredményei először előadásokban, a Balkan Geophysical Society konferenciáján, Budapesten (Kiss et al. 2011), később a Földtani Vándorgyűlésen és Kiállításon, Veszprémben (Kiss 2013b) és végül a HUNGEO-konferencián, Egerben (Kiss 2012a) és Debrecenben (Kiss & PRÁCSER 2014). Az előadások anyagai vagy a korábban írásban megjelent publikációkból születtek, vagy konferenciák rendezői kérték az alkalmazott geofizika témájú előadások publikálását a Magyar Geofizika (Kiss 2009, 2012b, 2014a, b) vagy a Földtani Közlöny hasábjain (jelen cikk).

A gravitációs Bouguer-anomália térkép értelmezése

A régió domborzati térképén (1. ábra) a Pannon-medence látható — az Alpok, Kárpátok és Dinaridák ölelésében. A 8 km rácsávolságú gravitációs Bouguer-anomália térképpel (2. ábra) való összevetés során azt látjuk, hogy a hegykoszorú vonalát gravitációs minimumzóna jellemzi.

Korábbi értelmezések szerint a minimumot a Kárpátok előtéri süllyedéke okozza (gondolták, a hegyek gerincvonala és a minimumzóna tengelye közötti elcsúszás miatt), de ennek ellentmond az Alpok, valamint a Magas-Tátra alatti nagy minimum, ahol nincs semmilyen medence vagy süllyedék. Magyarországon a Makói-árok sem jelenik meg gravitációs minimumként, pedig annak mélysége összevethető a Kárpátok előtéri süllyedéke mélységével, és érdekes módon az ország belsejében a nagy gravitációs minimumok sem elsősorban az ismert nagy kiterjedésű, mély medencékhez kapcsolódnak, hanem inkább mély, kéregszerkezeti elemekhez, nyírási zónákhoz.

A SZABÓ & PÁNCICS (1999) által közetmintákon, MÉSZÁROS & ZILAHÍ-SEBESS (2001) által karotázsgörbéken végzett elemzések alapján meghatározott sűrűség–mélység összefüggések azt jelzik, hogy a laza üledékek 2–3 km között, a tömörödésből adódóan, a medencealjzat sűrűségének megfelelő értéket vesznek fel, és ezért a nagyobb mélységű medencék esetében csak a gravitáció alapján a prekainozoos medencealjzatot nem lehet megbízhatóan követni.

A kárpáti előtéri süllyedék a gravitációs modellezés alapján okozhatna ilyen hatást, de csak akkor, ha a mélységi tömörödésből származó sűrűségváltozásokat nem vesszük figyelembe. A hegyek, mint domborzati maximumok, és a hozzájuk kapcsolódó gravitációs anomáliák ellentmondásos menetére azonban már korábban felfigyeltek, ez egy jól ismert jelenség.

Ha visszatekintünk a geofizikai kutatások kezdeteire, akkor az izosztázia-elméletbe botlunk, amely a Himalája-hegység vonalában tapasztalt nagy gravitációs minimum magyarázatát adta meg.

PRATT (1855) a hegységeknél csökkent sűrűségű kőzetoszlopokat tételezett fel az izosztatikus egyensúly biztosítására. AIRY (1855) azt feltételezte, hogy a tengerszint feletti domborzat egyfajta tükörképeként, mély gyökérzónája van a hegyeknek. A domborzati kiemelkedés és a köpenybe mélyülő gyökérzóna azonos gravitációs hatásának köszön-

hető az izosztatikus egyensúly (mint az úszó test egyensúlya, pl. a jégtáblák a vízen). Egyik modell sem tökéletes, de talán AIRY elképzelése van közelebb a valósághoz.

A magas hegyek tehát izosztatikus hatást okoznak, ami abban nyilvánul meg, hogy a hegyek felett — annak ellenére, hogy a nagy sűrűségű medencealjzati képződmények már a felszíntől jelen vannak — jelentős Bouguer-anomália minimumok alakulnak ki. A minimumot a hegyek alatt a sűrű köpenybe mélyülő, kisebb sűrűségű, kéreg-összetételű gyökérzóna okozza. A tengereknél és a mély üledékes medencéknél — a kéreg kivékonyodása, ebből adódóan a köpeny megemelkedése miatt — Bouguer-anomália maximumot tapasztalunk.

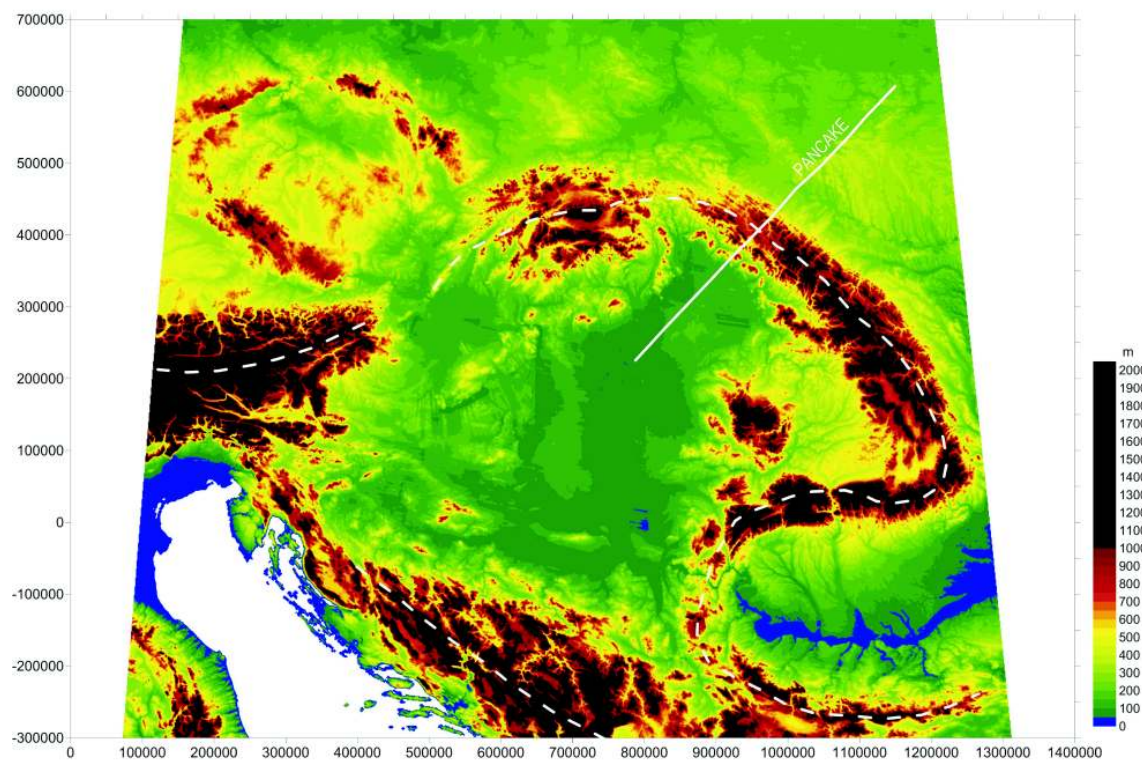
A körülöttünk lévő hegységek esetében is számolni kell az izosztatikus hatásokkal, amely nagy gravitációs minimumokat eredményez a hegykoszorú vonalában⁷, miközben a Pannon-medence izosztatikus okok miatt regionális maximumként jelentkezik (Kiss 2009, 2010, 2014a). A nagy minimumzónák benyúlnak a Pannon-medence peremi részeibe is, tovább növelve a medenceközépi maximumhatást. A köpenybe mélyülő kéreg anyagú izosztatikus gyökérzóna mérete a jelenkori domborzatból kiindulva közelíthető, annak 4,5–5,5-szerese (Airy-féle lokális izosztatikus modell). Az így kapott háromdimenziós kéreg–köpeny határfelület (Moho) gravitációs modellezése a Kárpát–Pannon-régió Bouguer-anomália térképéhez hasonló térképet eredményez (Kiss 2009, 2012a).

A Pannon-medence belsejében a vékony kéreg alatt, az izosztatikus egyensúly miatt a köpeny kiemelt helyzetben van, ami regionális gravitációs maximumot eredményez, ezt a környező hegyek izosztatikus gyökérzónája (gravitációs minimumzónája) veszi körül. Ha ezt a mélybeli hatást el tudjuk tüntetni, például az izosztatikus korrekcióval vagy frekvenciaszűréssel, akkor ez a probléma a medencealjzat-kutatások során, a különböző inhomogenitásoktól eltekintve, kezelhetővé válik.

Szelvény menti vizsgálatok alapján is azonosítható az izosztázia jelensége, amelynek bemutatására talán az Északkeleti-Kárpátokat keresztező PANCAKE litoszférakutató szelvény (3. ábra) a legszebb példa. Az ábra tetején látszik a gravitációs Bouguer-anomália görbe, és a nagy minimum alatt ott láthatjuk az izosztatikus gyökérzónát, amely sokkal inkább a hegyekhez kapcsolódik, semmint az előtéri süllyedékhez.

A hegységrendszer alatt megjelenő izosztatikus gyökérzóna anomálishan nagy sebességértékekkel jelentkezik a felszínközélen. A kéreg mélyebb részein viszont ez átfordul, és anomálishan kicsi sebességértékekkel jellemezhető. Ismerve a sebesség és a sűrűség közötti kapcsolatot⁸, a kirajzolódó sebességanomáliák (3. ábra) hasonló tendenciájú sűrűségeloszlást jeleznek.

A klasszikus AIRY-féle izosztatikus elmélet szerint a Moho szintjén jelentkező, köpenybe nyúló gyökérzónát kellene látnunk. A PANCAKE szelvény alapján viszont a környezethez viszonyított kisebb sebesség (vagy sűrűség) nemcsak a Moho szintjén, hanem felette, már a kéregben is jelentkezik.

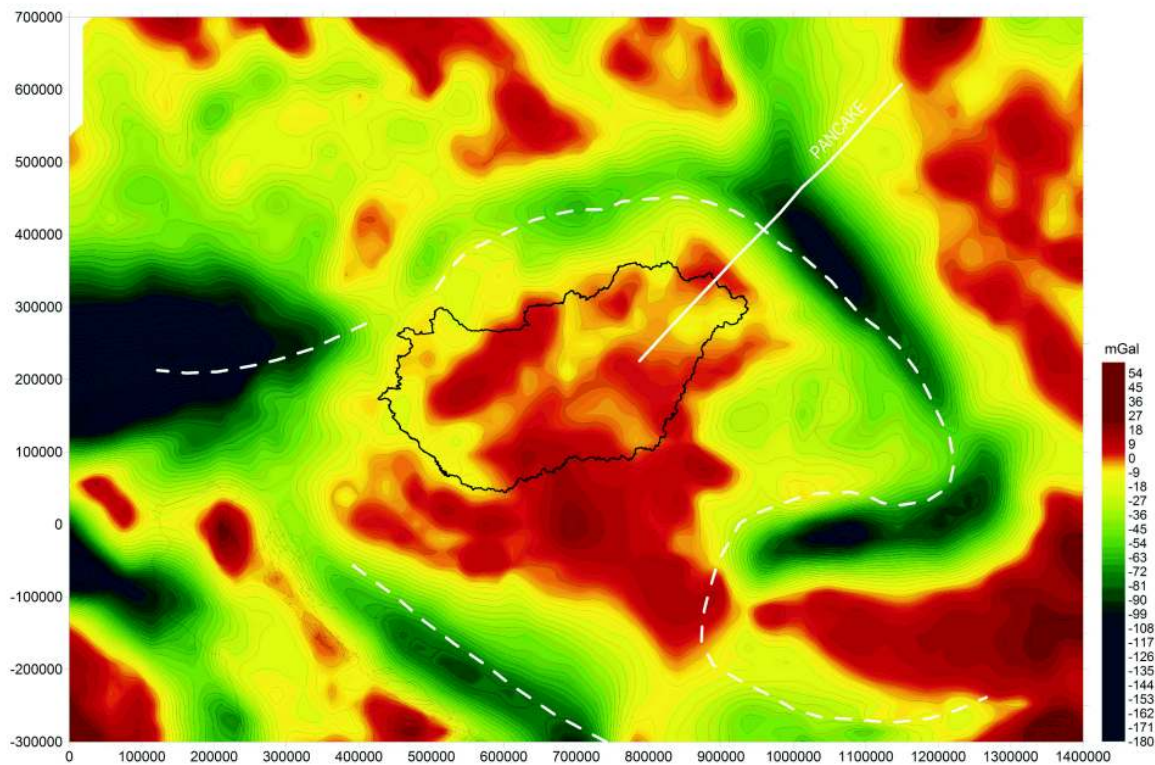


1. ábra. A Kárpát-Pannon-régió domborzati térképe (SRTM)

Szaggatott fehér vonal – a hegyláncok gerincvonala, folyamatos fehér vonal – a PANCAKE litoszférakutató szeizmikus szelvény nyomvonala

Figure 1. Relief map (SRTM) of Carpathian-Pannonian Region

White dashed line – ridge of the mountain ranges, white solid line – PANCAKE deep seismic section



2. ábra. A Kárpát-Pannon-régió gravitációs Bouguer-anomália térképe

Fehér vonalak magyarázata az 1. ábrán

Figure 2. Gravity Bouguer anomaly map of Carpathian-Pannonian Region

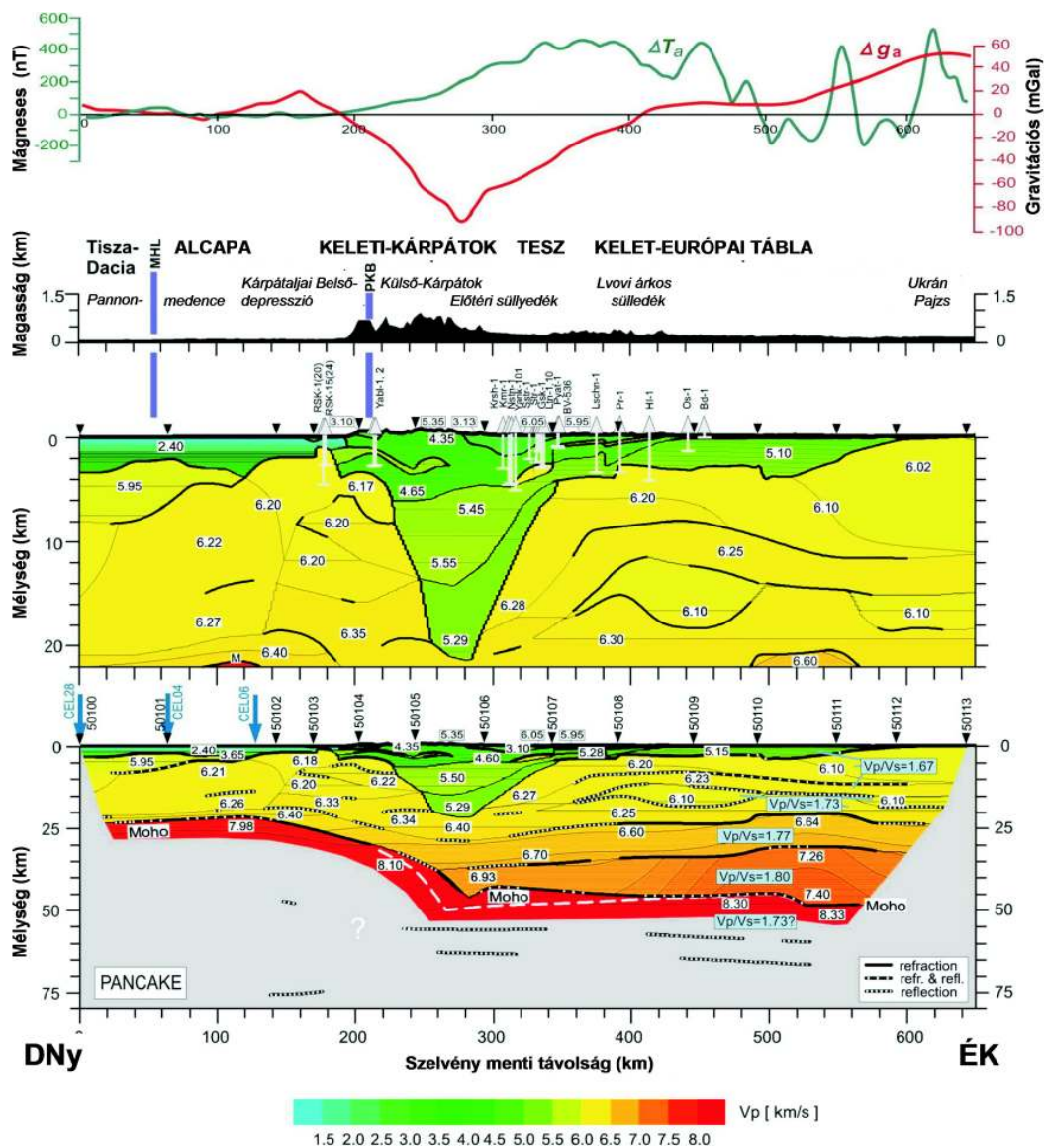
Descriptions of white lines see on Figure 1

A felgyűrődő hegységek súlya miatt mélybe kerülő összletek, a mérések alapján, sokkal kisebb sebességet (sűrűséget) mutatnak (3. ábra), mint amit a konszolidált kéregben az adott mélység hőmérséklet- és nyomásviszonyai indokolnának (lásd a környezet paramétereit). A környezetnek megfelelő sebességet (sűrűséget) a kőzetek az izosztatikus gyökérvonalban, a 3. ábra alapján, valószínűleg még nem érték el.

A legérdekesebb az, hogy a sebességadatok alapján a szelvény mentén tulajdonképpen az AIRY- és PRATT-féle izosztatikus modell együttes megjelenése, egyfajta hibridje azonosítható. A diszkontinuitásfelületek mélységi változása az AIRY-féle elképzelést erősítik, a kéreg azonos szintjein megjelenő sebességváltozás (sűrűségváltozás) viszont a PRATT-féle modellhez áll közelebb.

A 3. ábra alapján jól azonosítható a Kárpáttól ÉK-re az előtéri süllyedék, de a gravitációs minimum nem a süllyedéknél jelentkezik, hanem a csökkent sebességű zóna felett, lemásolva annak formáját. Látszik az is, hogy az izosztatikus gyökérvonal és a hegygerinc el van csúszva egymáshoz képest, aminek mértéke 20–40 km körüli. Ez ellentmondásnak tűnik, de korábbi tanulmányok (KOVÁCS et al. 2011, Kiss 2014a) alapján ez az Alpok–Adria irányából érkező köpenyáramlásnak köszönhető, amely a felső kéregre és a kéreg mélyebb részeire eltérő mértékben hatott (pl. a viszkozitástól függően).

Noha a régióra az 1980-as években kialakult kiszökési modellel (pl. BALLA 1982, 1984, KÁZMÉR & KOVÁCS 1985, ROYDEN & BÁLDI 1988, HORVÁTH 1993, TARI 1994, FODOR & CSONTOS 1998, FODOR et al. 1998, 1999), illetve a jelenkori



3. ábra. A PANCAKE litoszférakutató szelvény

Legfelül a gravitációs és a mágneses anomáliagörbe, alatta a túlmagasított domborzat, majd a szeizmikus sebesség-eloszlás 22 és 80 km mélységig (JANIK et al. 2011)

Figure 3. PANCAKE, lithosphere experimental seismic section

Above: the gravity and magnetic anomaly curves and the relief along the profile, below: the seismic velocity sections until depth of 22 and 80 km (JANIK et al. 2011)

feszültségmezővel (pl. BADA et al. 1999, 2007, FODOR et al. 1999, 2005 és FODOR 2010) több tanulmány is foglalkozott, a kinematikai mozgások meghajtó mechanizmusa (azaz mi mozgatta a lemezeket) teljes mértékben nem tisztázott.

ROYDEN et al. (1983) veti fel a „rollback” szubdukció magyarázataként a köpenyáramlást, mint meghajtó erőt, amit geofizikai mérési anyagok is bizonyítanak.

A Kárpát–Pannon-régió több mikrolemezről alakult ki. A mélybeli feszültségekről, illetve a mikrolemezek mozgásáról a földrengések (és manapság GPS-vizsgálatok, GRENERCZY 2005) tájékoztatnak minket. A Földön a rengések leggyakrabban lemezperemek mentén jelentkeznek, vagy ahhoz kapcsolódnak, ezért érdemes megvizsgálni a régióban tapasztalt rengések elhelyezkedését.

A Mur–Mürz-vonal az Alpok és Kárpátok között azonosítható szeizmikusan nagyon aktív, balos eltolódásnak megfelelő vonal (4. ábra).

A Keleti-Kárpátok É-i részén a földrengészóna a hegység DNY-i előterében jelentkezik (a gerincen belül), a mészalikali vulkáni ívvel párhuzamosan (4. ábra és 5. ábra). Ha a rengések Benioff-zónát jeleznek, akkor a Kárpát-medence belseje felé mutató, DNY-i alábukást (szubdukciót) kell feltételeznünk. Dél felé haladva a rengészóna és a vulkáni ív is egyre közelebb kerül a gerincvonalhoz, majd keresztezi is azt. A Vrancea-zóna már a gerincen való átmenet után van.

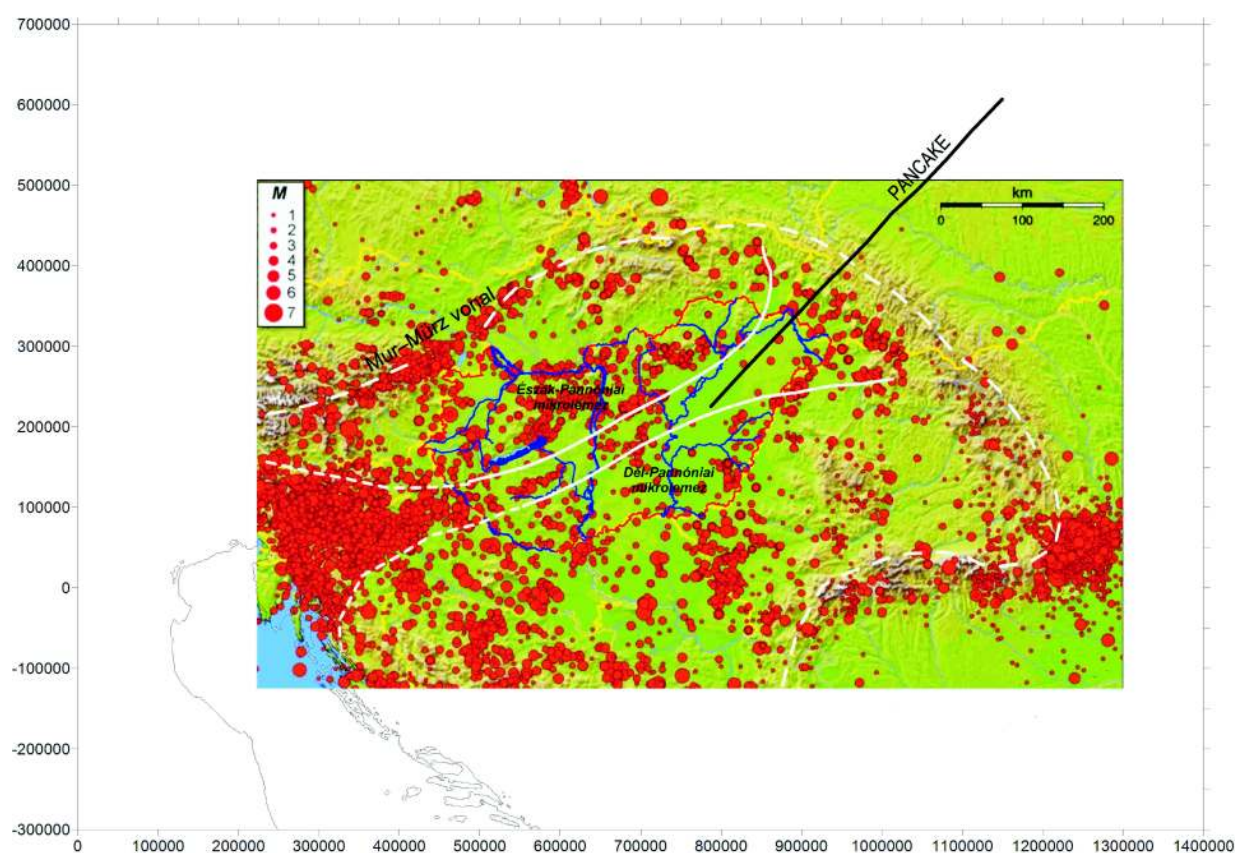
A Déli-Kárpátokban a földrengészóna inkább a hegység déli peremén fut, a gerincen kívül, ami elvileg a medencéből kifelé mutató, D-i irányú szubdukciót jelezhet esetleg É-i irányú, de átforduló, „rollback” szubdukciót.

Földrengések ott jelentkeznek, ahol a mikrolemezek egymáshoz képest elmozdulnak. Ellentétes mozgásnál a rengések gyakoribbak, azonos irányú, változó sebességű mozgások mellett ritkábbak (pl. SULLIVAN 1985). A Benioff-zóna az alábukó lemez mentén kialakuló rengések helyét mutatja, ezek a lemezhatártól jelentős távolságban (100–200 km) is jelentkezhetnek a szubdukció szögétől és a mélységtől függően.

A 4. ábra a BALLA Zoltán által publikált (BALLA 1982) Észak- és Dél-pannóniai-mikrolemezeket mutatja, valamint a köztük lévő mobilis zónát, a Közép-magyarországi-zónát a magyarországi földrengések térképén. Az 1982. évi BALLA-féle folytonos vonalak kapcsolódnak a szlovéniai rengésgóc É-i és DK-i szaggatott határvonalához (4. ábra).

Az 5. ábra piros szaggatott vonalai a szeizmikusan aktív zónákat mutatják, illetve a Szlovéniára valamint Horvátország ÉNy-i területére eső földrengésgócot határolják le. Ezen az ábrán nem mutatjuk a magyarországi nagyszerkezeti vonalakat, de azért látszik, hogy ez utóbbi rengésszövek a Közép-magyarországi-zóna Ny-i kezdetét jelzik.

A 6. ábra a gravitációs Bouguer-anomália térképét

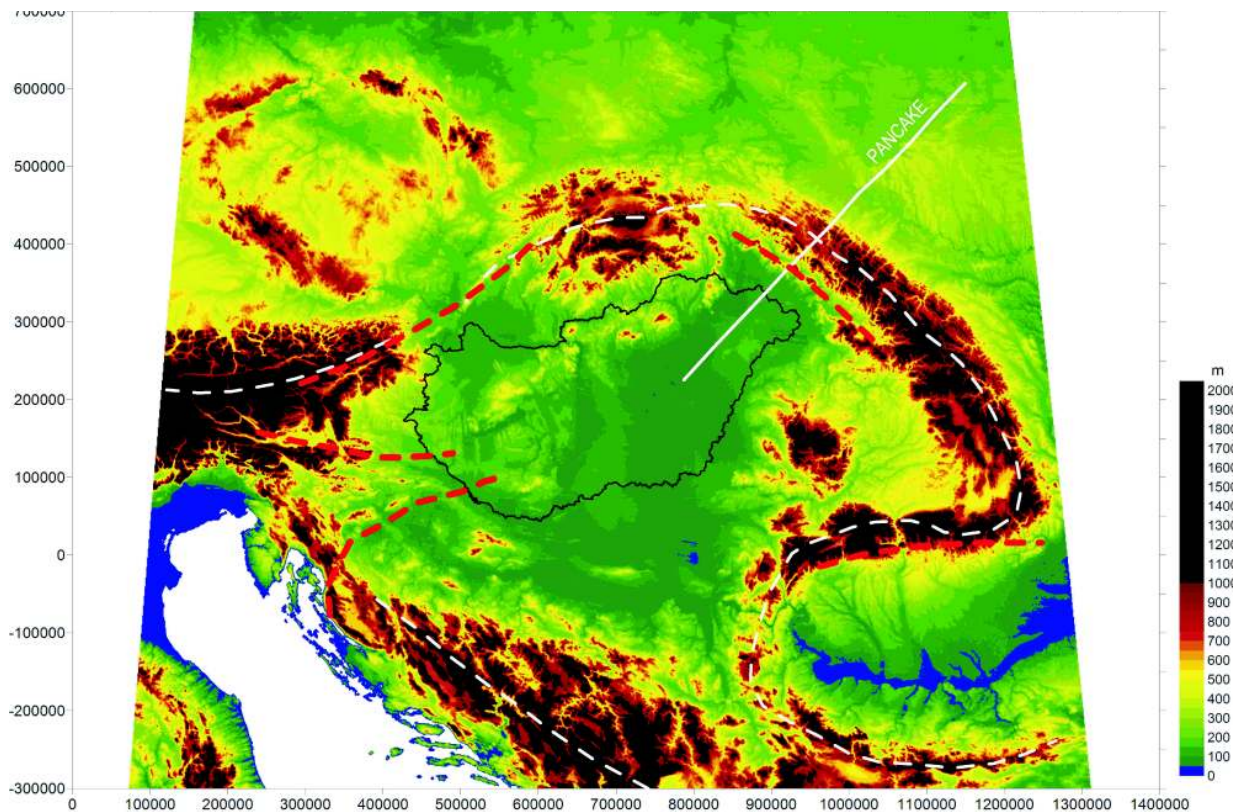


4. ábra. BALLA-féle mikrolemez határok a magyarországi földrengések térképén (TÓTH & ZSÍROS 2002)

Rövid fehér szaggatott vonalak – kiegészítés a szlovéniai rengések határoló vonalaival, folytonos fehér vonal – BALLA (1982) határvonalai, hosszú szaggatott és egyenes fekete vonal magyarázata az 1. ábrán

Figure 4. Boundaries of microplates after BALLA (1982) on the Earthquake Map of Hungary (TÓTH & ZSÍROS 2002)

Short white dashed lines – boundary lines of the Slovenian Earthquake zone, white solid line – boundaries of microplates after BALLA (1982), descriptions of other lines see on Figure 1



5. ábra. A Kárpát-Pannon-régió domborzati térképe (SRTM) és a földrengészónák

Piros szaggatott vonalak – földrengészónák, amelyek Szlovénia-Horvátország területén a földrengésgóc É-i és DK-i határát jelzik, a többi vonal magyarázata az 1. ábrán

Figure 5. Relief map (SRTM) of Carpathian-Pannonian Region with earthquake zones

Red dashed lines – earthquake zones, at Slovenia and Croatia the boundaries of the earthquake zones, descriptions of other lines see on Figure 1

mutatja a földrengészónákkal. A szlovéniai földrengésgóc szinte folytonosan csatlakozik egy gravitációs minimumzónához, amely a Közép-magyarországi mobilis zónát jelöli, csak enyhén eltérve a BALLA által korábban felvázolt vonalaktól. Az Alcapa és a Tiszai-egységek feltételezhető mozgása ÉK-i, K-i irányú lehetett (pl. BALLA 1982, 1984; HORVÁTH 1993, 2004, 2007; TARI 1994; KOVÁCS et al. 2011), de a blokkok különbözőségét mutatja a köztük kialakuló mély nyírási zóna, ami gravitációs minimumként jelentkezik. A két blokk mozgásának iránya még a recens mozgások (GPS vizsgálatok) alapján is kimutatható (GRENERCZY 2005).

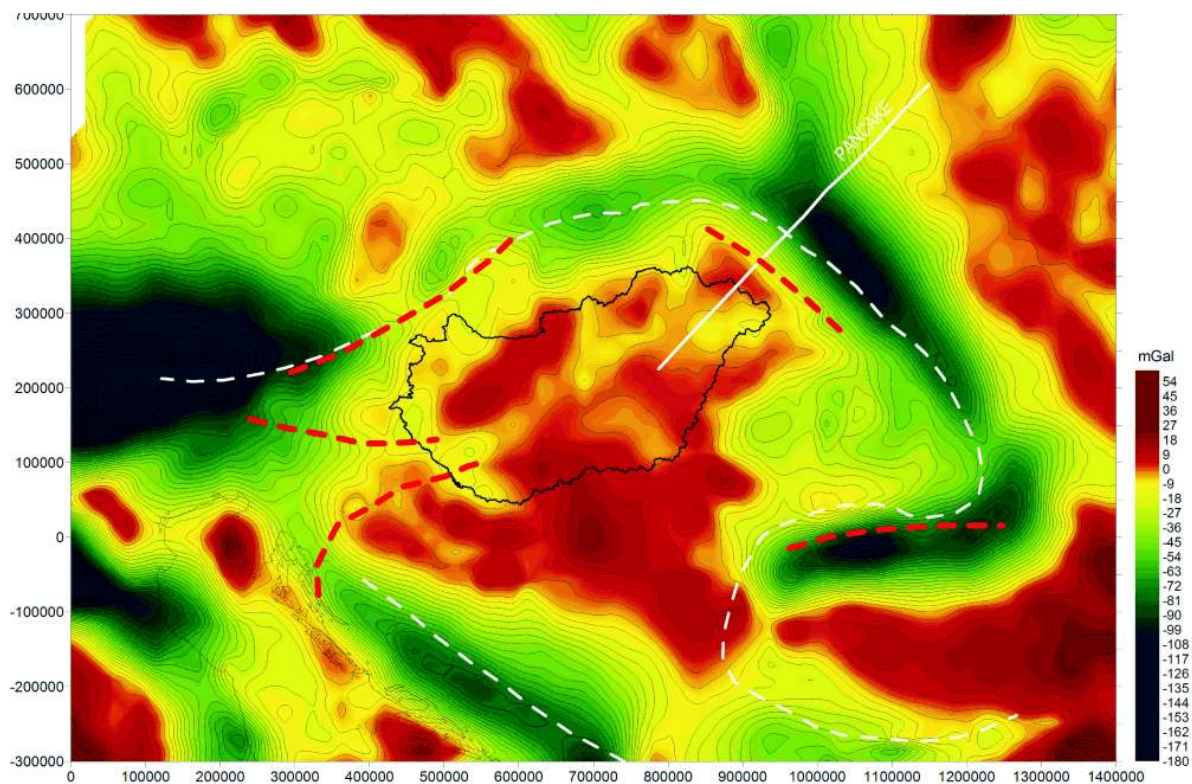
2013-ban a gravitációs anomália térkép értelmezéséhez felállított geodinamikai modell alapján (KISS 2013b, 2014a) az Adriai-mikrolemez ÉÉNy-i mozgása az Alpoknál ÉÉK-i mozgássá alakul, amely egészen a TESZ (Trans European Suture Zone) vonaláig hat. Nekifutva az Európai táblának a blokkok oldalirányú mozgásra, rotációra kényszerülnek (ami lehet lokális jellegű), amelynek nyomát még a jelenkori feszültségtér is őrzi (BADA et al. 2007). A mikrolemezek és blokkok valószínűleg egymáshoz képest is mozogtak, eltérő sebességgel, s ezért köztük nyírási zónák alakultak ki, amelyek a rideg litoszférában egészen a köpenyig lenyúlhattak.

Ezek a nyírási zónák, az értelmezésünk szerint, felszabdalták az izosztikus hatások által kialakított Pannon-medencei gravitációs maximumot (6. ábra). A nyírási vona-

lak mentén találhatók a Pannon-medence legjelentősebb gravitációs minimumzónái, amelyek nem elsősorban a medencealjazat mélységével vannak kapcsolatban, hanem sokkal inkább mélyebb inhomogenitásokkal, szerkezeti mozgásokhoz köthető fellazulási zónákkal. A mélység növekedésével a kőzetek sűrűsége egyre kevésbé függ a litológiától, és egyre inkább a pórustérfogat határozza meg azt (ZILÁHI-SEBESS László szóbeli közlése). A nyírási zónákban a környezethez képest megnő a pórustérfogat, lecsökken a sűrűség és a nagy közettömeg eredő hatása miatt gravitációs minimum jelentkezik.

A mély nyírási zónák néhányszor tíz kilométer széles gravitációs minimum sávokként jelentkeznek. A gravitációs lineamentek⁹ (KISS 2012b) széles zónák esetén a peremvonalat mentén jelölhetők ki, de sokszor, kárpát-medencei lépték mellett, inkább a középvonalat mutatják (7. ábra). E vonalak görbülete is árulkodó: a Közép-magyarországi zóna mentén DNy-ról ÉK-re haladva, az ÉNy-i oldalon észak felé görbülnek, míg DK-i oldalon, a Mecsektől K-re, dél felé görbülnek. Ezek az irányok a mikrolemezek rotációjával lehetnek kapcsolatban (8. ábra), a lineamentek a vonszolódás nyomaiként jelentkeznek.

A paleomágneses vizsgálatok (MÁRTON 1985, MÁRTON et al. 2009) is azt mutatják, hogy a magyarországi mikrolemezek (az É-i vagy Alcapa és a déli vagy Tiszai) eltérő rotációval jellemezhetők (8. ábra). Az Alcapa-blokkra óramutató járásával ellentétes rotáció, a Tiszai-blokkra óra-

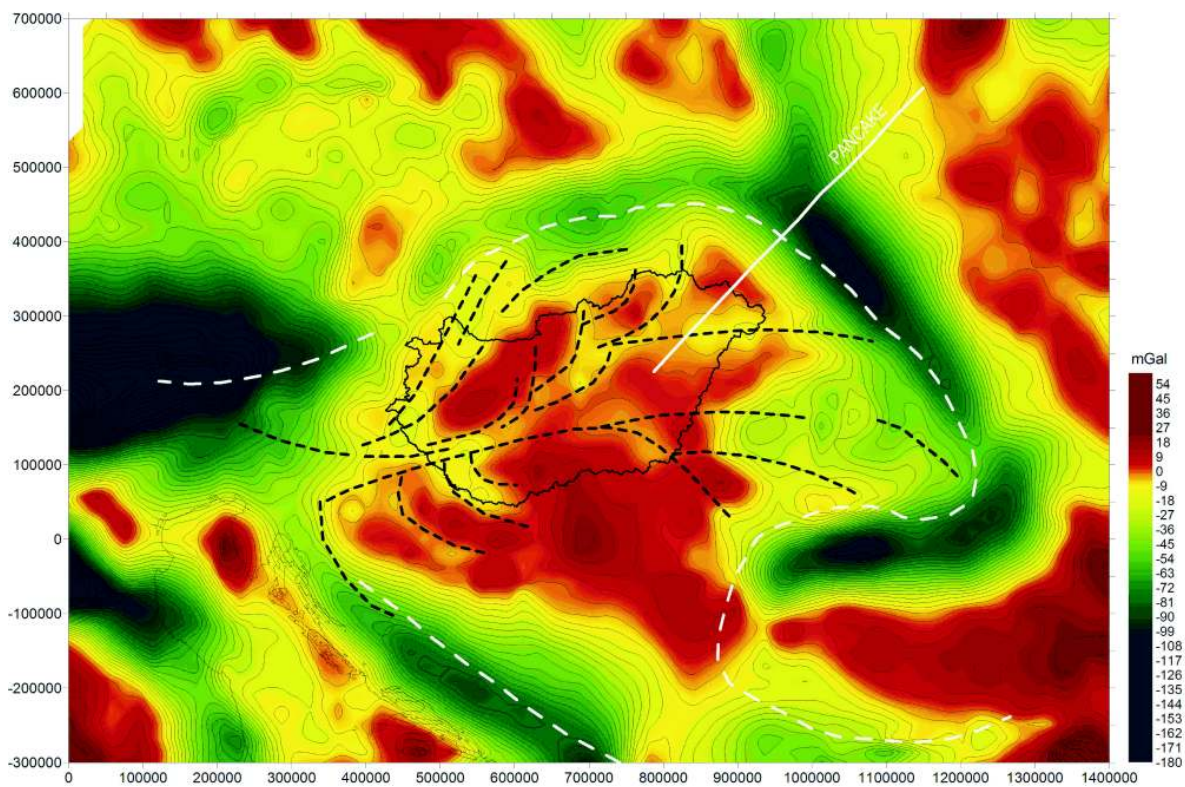


6. ábra. A Kárpát-Pannon-régió gravitációs Bouguer-anomália térképe és a földrengészónák

Piros vonalak magyarázata az 5. ábrán, a fehérek az 1. ábrán

Figure 6. Gravity Bouguer anomaly map of Carpathian-Pannonian Region and the earthquake zones

Descriptions of red lines see on Figure 5 other lines see on Figure 1

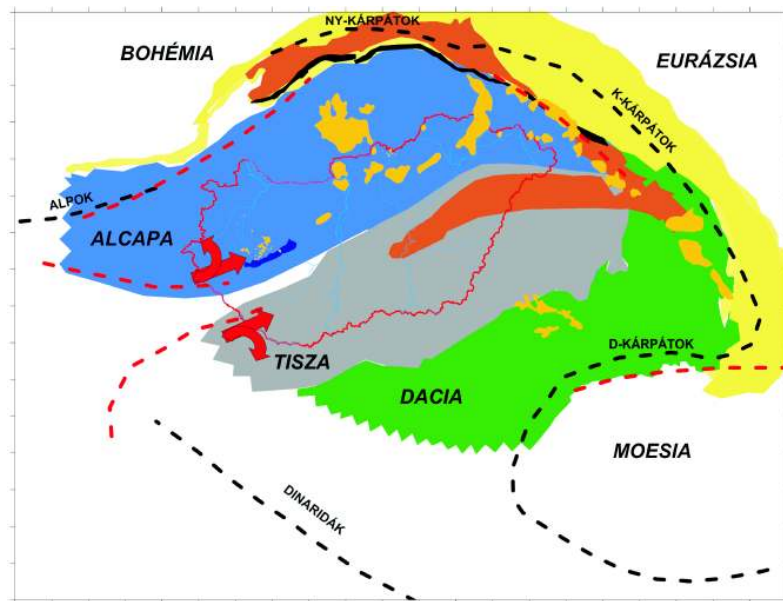


7. ábra. A Kárpát-Pannon-régió Bouguer-anomália térképe gravitációs lineamentekkel (Kiss 2012b)

Fekete szaggatott vonalak – gravitációs lineamentek, fehér vonalak magyarázata az 1. ábrán

Figure 7. Gravity Bouguer anomaly map of Carpathian-Pannonian Region with gravity lineaments (Kiss 2012b)

Black dashed lines – gravity lineaments, descriptions of other lines see on Figure 1



8. ábra. Az Alcapa- és Tiszai-egységek paleomágneses rotációja (MÁRTON 2009 után módosítva)

Piros vonalak magyarázata az 5. ábrán

Figure 8. Palaeomagnetic rotation of Alcapa and Tisza Unit (after MÁRTON 2009)

Descriptions of red lines see on Figure 5

mutató járásával megegyező rotáció a jellemző. A köztük lévő határvonal egy szutura¹⁰ vonal (a Közép-magyarországi-zóna), amelynek földtani, lemeztektonikai szempontból is kitüntetett a jelentősége. Földtani felépítése alapján az Alcapa-mikrolemez adriai, míg a Tiszai-mikrolemez inkább európai kifejlődésű összleteket tartalmaz, tehát eltérő földtani kifejlődésű mikrolemezek kerültek egymás mellé.

A minimumzónák íves lefutása tehát a rotációnak megfelelő rajzolatot mutat. Ha a blokk mozgása a minimumzónák irányában tükröződik, akkor a minimumzónák olyan mély szerkezeteket jeleznek, amelyek mentén a blokkok egymáshoz képest vonszolódtak, s mivel eltérő meghajtó és súrlódó erők hatottak rájuk, forogtak is, azaz rotáltak valamilyen közel függőleges tengely mentén. A mozgást helyről-helyre a litoszféra fizikai tulajdonságai determinálták. A gravitációs adatok spektrális vizsgálata szintén kéregszerkezeti elemnek mutatja a nagy minimumzónákat, mert azok a legnagyobb mélységű hatások (legnagyobb hullámhosszúságú anomáliák) esetében is azonosíthatók (Kiss 2012b).

A Kárpát–Pannon-régió mágneses anomália térképe

A régió mágneses anomália térképe csak raszteres formában (értsd: képként) áll rendelkezésre (9. ábra), amely további feldolgozásokat, részletesebb értelmezéseket nem tesz lehetővé. Pedig az eddigi tapasztalatok alapján a feldolgozásokhoz és az értelmezésekhez a mágneses anomália térkép legalább olyan fontos lenne, mint a gravitációs térkép (gondoljunk például, az óceáni hátságok mágneses anomália térképének a lemeztektonika igazolásában játszott szerepére).

Az európai mágneses (tér)kép vizuális értelmezését a Magyar Geofizikában tettük közzé (Kiss 2014c), illetve a HUNGEO 2014. évi konferenciáján mutattuk be előadás formájában (Kiss & PRÁCSER 2014). A legfontosabb következtetéseink:

- A mágneses anomáliák alapján meghatározott lineamensek a szerkezeti viszonyokat tükrözik, amelyek a terület földtani múltjának mozgásaival is összefüggésben lehetnek, és annak a közetmágnesezettségi paraméterek alapján kirajzolódó képét mutatják.

- Az andezitek térbeli elhelyezkedése gyakran szubdukcióhoz köthető. Az andezit a magyarországi tapasztalatok alapján az egyik fő mágneses ható, így a mágneses anomália térkép értelmezésekor az andezit elterjedésének ismerete fontos — a Kárpát–Pannon-régióban valaha lezajlott konvergens lemeztektonikai jelenségekre utalhat.

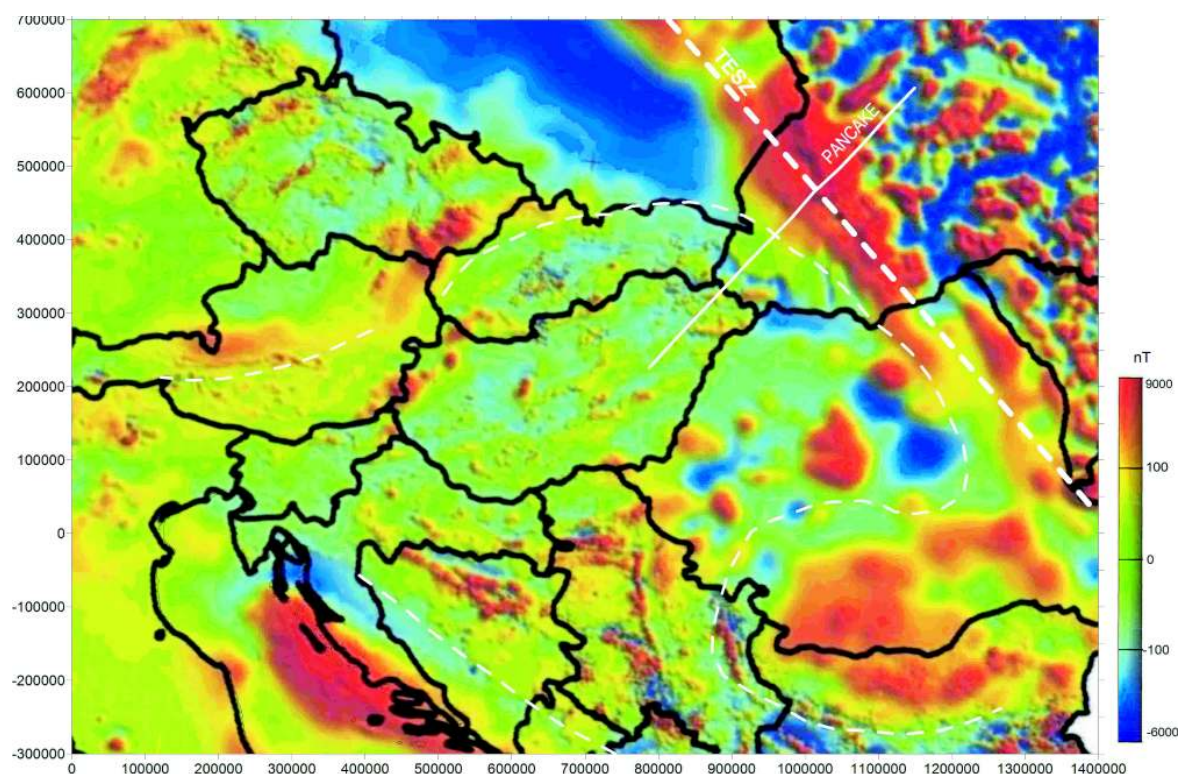
- A hazai bazaltok kontinentális bazaltvulkanizmus-hoz, riftesedéshez kapcsolódnak¹¹.

- Obdukciós zónák ofiolitjai sávós mágneses anomáliákat okozhatnak.

- A földtani információk döntő többsége a felszínről (vagy nagyon kis mélységből) származik, miközben a potenciáltér-anomáliák és az abból származtatott lineamensek a kéreg felső részének (10–20 km mélység) összegzett hatását mutatják, azaz olyasmit látunk a geofizikán keresztül, amiről esetleg földtani szempontból még nincsenek is ismereteink.

A mágneses anomália térkép értelmezése

A mágneses térkép (9. ábra) legjelentősebb texturális eltérése a TESZ vonala mentén jelentkezik. Itt erős váltás van a mágneses anomáliáknak mind amplitúdójában (a kőzetek



9. ábra. A Kárpát-Pannon-régió mágneses anomália térképe

Vastag szaggatott vonal – a TESSZ vonala, vékony fehér vonalak magyarázata az 1. ábrán

Figure 9. Magnetic anomaly map of Carpathian-Pannonian Region

Thick white dashed line – the TESSZ, descriptions of other white lines see on Figure 1

mágneses tulajdonságában), mind frekvenciájában (a ható mélységében). Ez a vonal a magas hőmérsékletű, vékony kéreggel rendelkező, paleozoos, gyengén mágneses Nyugat-Európai-táblát választja el az alacsony hőmérsékletű, vastag kéreggel rendelkező, erősen metamorfizálódott és erősen mágneses, idősebb Kelet-Európai-kratontól (lásd FLETCHER et al. 2011).

A TESSZ vonala mentén jelentős mágneses maximum-vonalat azonosítható (9. ábra). Ilyen anomáliát mélyen, az akkréciós prizma anyagában jelenlévő, felgyűrődött óceáni eredetű kéregmaradványok — obdukált ofiolitok — okozhatnak. Hasonló anomália figyelhető meg Horvátország adriai partszakasza mentén is, de ennek eredete ismeretlen.

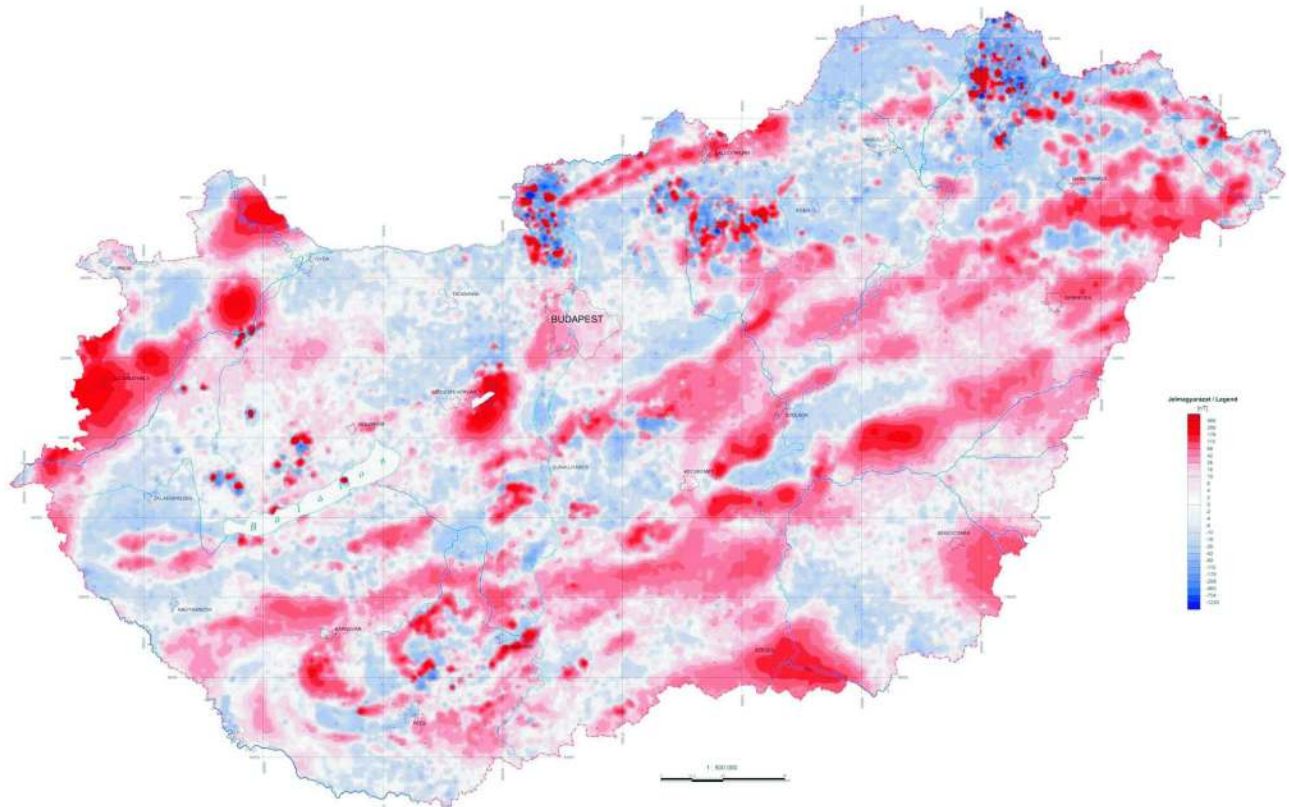
Még egy érdekes vonulat mutatható ki, az Alpok–Nyugati-Kárpátok gerincvonalától É-ra, az orogén zónához kapcsolódva egészen Lengyelorszáig, ahol az országhatáron minden megváltozik (itt felmerül a lengyel mágneses adatok hibás alapszintje). Ez a vonulat azért érdekes, mert az osztrák–magyar határ mentén egy hasonló ívű mágneses anomália vonulat látszik — a Rába–Hurbanovo-vonal É-i oldala (9. ábra).

A különböző országok eltérő sűrűségű forrás-adatrendszer miatt a térkép felbontása nem egyforma, különösen szembeütő, ha az országos mágneses anomália térképet (10. ábra) vetjük össze a régió térképével (9. ábra). A főbb jellegzetességek felismerhetők, de az anomália térképek eltérő rácsávolsága miatt az európai léptékű térkép felbontása sokkal rosszabb.

A Kárpát–Pannon-régió mágneses anomália térképén (9. ábra), a Keleti-Kárpátok Ny-i pereméről ismert felszíni

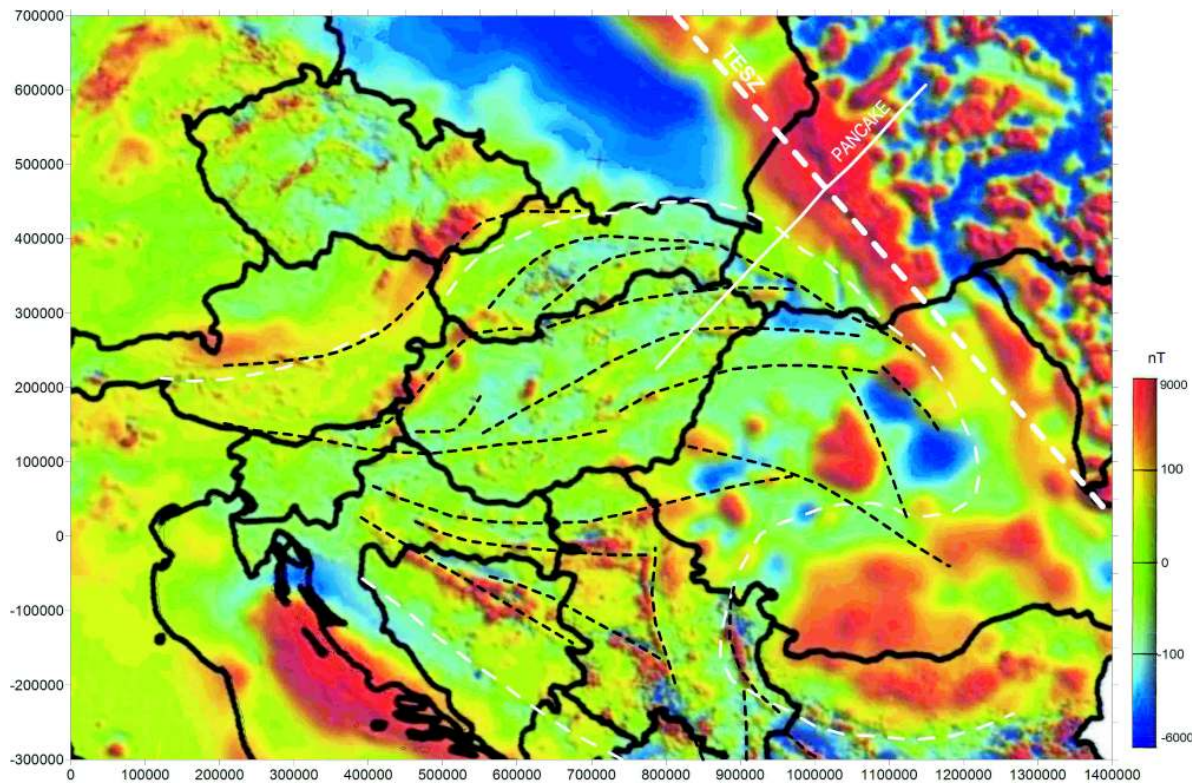
andezitek nagyfrekvenciás anomáliái nem azonosíthatók (a ritka mintavételezés simító hatása miatt), noha annyira a felszínen vannak, hogy a morfológia fontos tényezői — a részletesebb, nyomdai kiadásban megjelent romániai mágneses anomália térképen (TANASOIU et al. 1983) a mészalakú vulkanitok jól azonosíthatók. A vulkanitok a felszínen vannak, ezért nagyon változékony mágneses anomália teret (nagyfrekvenciás anomáliákat) okoznak, amelyek kimutatásához megfelelően sűrű mérésre (adatra) van szükség, de a bemutatott térkép (9. ábra) ennek a kritériumnak sajnos nem felel meg (főleg a lengyel, ukrán és romániai területek mágneses felbontása rossz, mivel itt az anomáliák elkenődnek). Ezen a térképen Magyarország neogén vulkanitjai csak a Nyírség területén jelentkeznek mágneses maximumként, a nagy vastagságban jelenlévő magmás összleteknek köszönhetően. Vulkanai hegységeink nem látszanak a ritka mintázás miatt, pedig a sűrűbb, országos adatrendszeren ezek jól azonosíthatók (10. ábra).

A régió mágneses térképén is kisebb-nagyobb hosszúságban kijelölhetőek lineamensek (11. ábra), amelyek kéregbeli mágneses hatók peremével lehetnek összefüggésben. Ezek lefutása a gravitációs lineamensekéhez (7. ábra) hasonló, legyezőszerű rajzolatot mutat. A vizuális kijelölés bizonytalansága miatt főként a tendenciák mutathatók ki. A gravitációs és mágneses anomáliákat okozó hatók nem feltétlenül ugyanazok és nem ugyanabban a mélységtartományban jelentkeznek, így a kapott lineamensek teljes átfedése sem várható el.



10. ábra. Magyarország mágneses ΔZ anomália térképe (KISS & GULYÁS 2006, 500 000-es nyomdai változat kicsinyítése)

Figure 10. Magnetic ΔZ anomaly map of Hungary (KISS & GULYÁS 2006, reduced version of 1: 500 000 scale typographical variant)



11. ábra. A Kárpát-Pannon-régió mágneses anomália térképe mágneses lineamentekkel

Fekete szaggatott vonalak – mágneses lineamentek, fehér vonalak magyarázata az 1. és 9. ábrán

Figure 11. Magnetic map of Carpathian-Pannonian Region with magnetic lineaments

Black dashed lines – magnetic lineaments, description of white lines see on Figure 1. and Figure 9

A lineamenseket a földtani ismeretek (pl. BALLA 1982, Kiss 2014c) alapján egyszerűsíthetjük, kéregszerkezeti vonalakat határozva meg (12., 13. és 14. ábra). A vonalak részben kapcsolhatók ismert szerkezeti vonalakhoz. ÉNy-ról DK-re haladva, az első lineamens a Mur–Mürz-vonallal (balos eltolódás) rokon, a második lineamens a Rába-vonal (balos eltolódás) és annak folytatása a Kárpátokig, a következő a Közép-magyarországi-zóna É-i és D-i határvonala, aminek D-i pereme a „Drago Voda Fault”-nak felel meg. Végül az utolsó lineamens az „Intra Moesian Fault”-nak az ÉNy-i irányú folytatása (kezdet).

Ezek a kéregszerkezeti vonalak olyan nyírási zónák lehetnek, amelyek mentén a blokkok ÉK-i, K-i, illetve DK-i irányban mozogtak. Mivel a mágneses adatrendszer alapján lettek kijelölve, e vonalakhoz valószínűleg bázisos magmás vagy metamorf¹² képződmények kapcsolódnak.

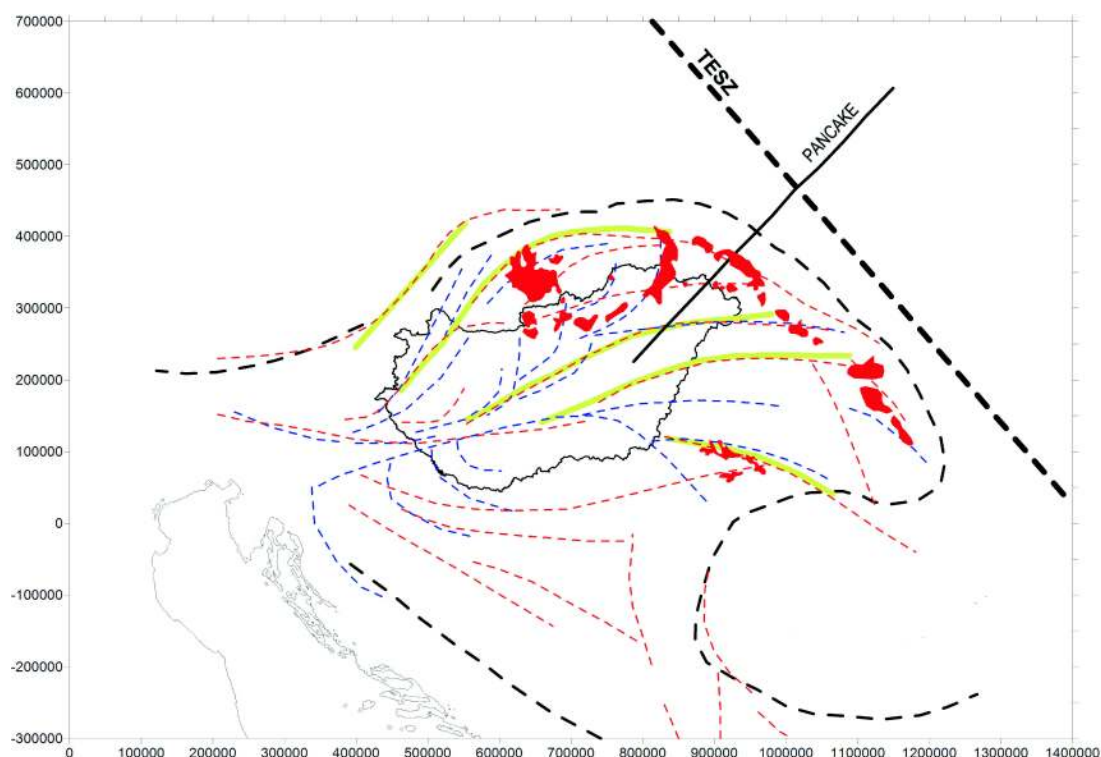
Az egyszerűsített lineamenseket megjelenítettük SCHMID et al. (2008) az Alpok, Kárpátok és Dinaridák főbb tektonikai egységét bemutató térképén is (15. ábra).

A magyarországi mágneses anomália térkép értelmezése

A mágneses anomáliák elhelyezkedése az országhatáron belül érdekes mintázatot mutat (10. ábra). A hatók egy része, a felszín közeliek, pontosan beazonosíthatók, másik része ismeretlen vagy mélybeli eredetű, és ezért pontosan még nem azonosított (16. ábra).

Az országos anomália térképen felismerhetőek a vulkáni hegységeink (Dunazug, Börzsöny, Cserhát, Mátra, Tokaji-hegység és a bazalt tanúhegyek) körvonalai (16. ábra). Vannak azonban olyan hosszan nyomon követhető pászták (pl. a Közép-magyarországi-zóna), amelyek mélybeli kéregszerkezetekre, utalnak. Ezek az anomáliák a megjelenésükben hasonlóak: ~20 km széles anomaliasávok (10. ábra), amelyek gyakorlatilag függetlenek a medencealjzat települési mélységétől (17. ábra) — ergo a megjelenésük kizárólag a felszínközeli (fedett) miocén vulkanitokkal nem magyarázható. A savanyú vulkanitoknak a mágneses hatása elenyésző, ebben a léptékben nem mutathatók ki.

A digitálisan rendelkezésre álló adatrendszer szerteágazó feldolgozási lehetőségeket biztosít. Hatóperem vagy lineamens kijelöléssel a mágneses hatókat vagy azok kontúrját tudjuk kimutatni. Az eredmények megjelenítésére alkalmazott szimbólum egy kis vonal, amelynek hossza az anomáliatér változásának nagyságával arányos, iránya pedig merőleges a legnagyobb változás irányára, ami a képződmények csapásirányának felel meg. Lokális hatók esetén ez a megjelenítés a ható közepe mentén megjelenő, egymást keresztező vonalak sokaságát, csillagszerű alakzatát adja meg. A vulkáni hegységeink, valamint a Balaton-felvidéki, kisalföldi és nógrádi tanúhegyeink, ebben a formában jelentkeznek (16. ábra). A hosszan elnyúló mágneses anomáliák leképzésekor összefüggő vonalrendszert kapunk, lásd például a Közép-magyarországi-zóna két oldalán jelentkező hatóperemeket (16. ábra).

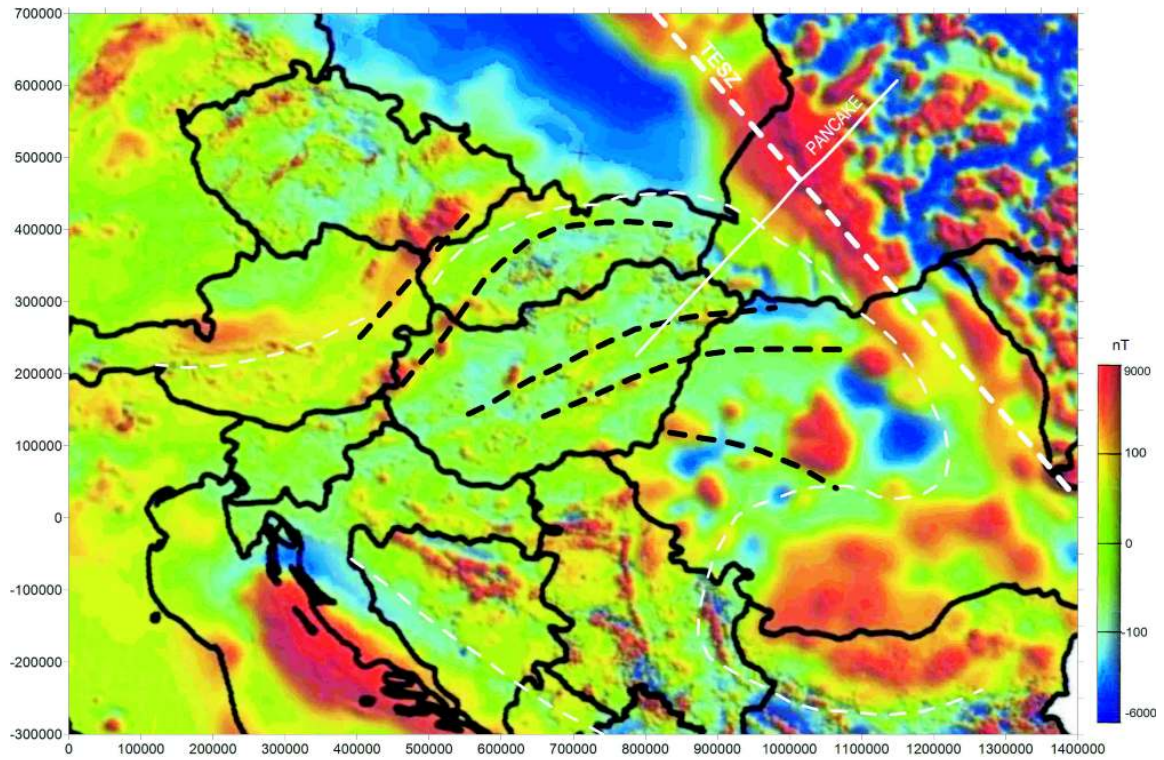


12. ábra. Gravitációs és mágneses lineamensek és felszíni neogén vulkanitok megjelenítése a Kárpát-Pannon-régióban

Kék szaggatott vonal – gravitációs, piros szaggatott vonal – mágneses, zöld vonal – egyszerűsített lineamensek, piros poligonok – felszíni vulkanitok

Figure 12. Gravity and magnetic lineaments and the surface volcanites in the Carpathian-Pannonian Region

Blue dashed lines – gravity lineaments, red dashed lines – magnetic lineaments, light green line – simplified lineaments, red polygons – surface volcanites

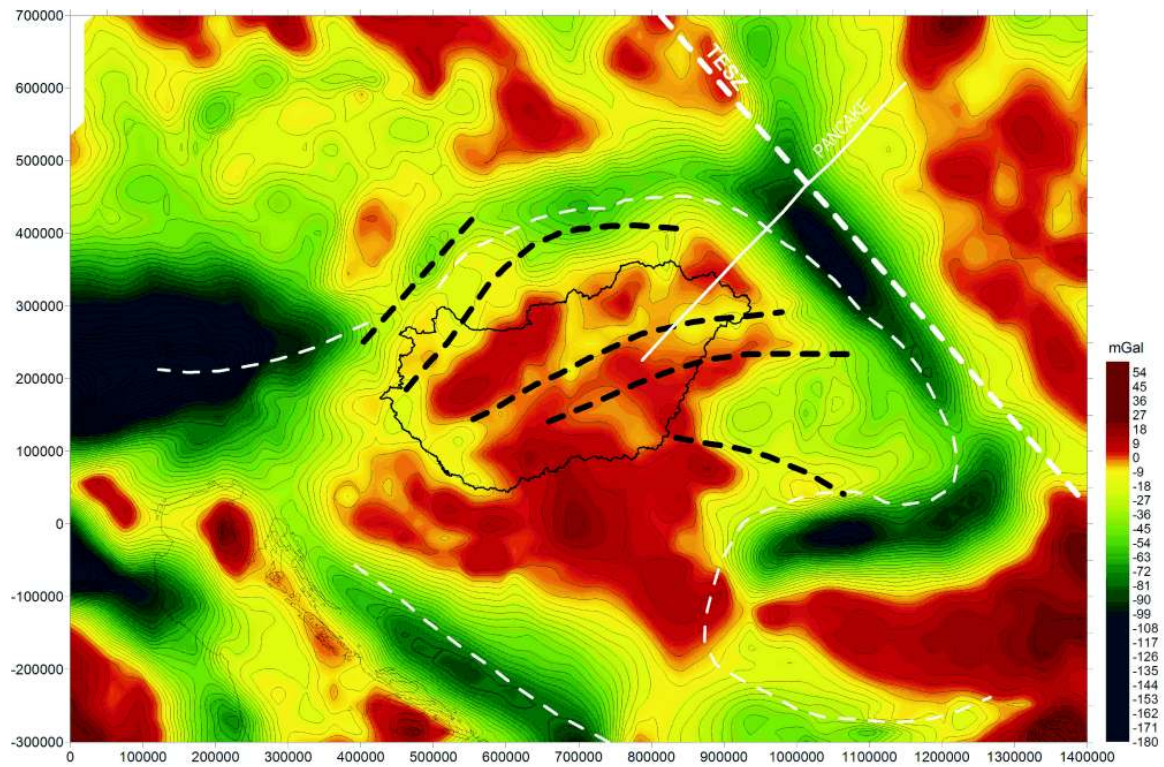


13. ábra. Egyszerűsített lineamensek a Kárpát–Pannon-régió mágneses anomália térképén

Fekete szaggatott vonalak – egyszerűsített lineamensek, fehér vonalak magyarázata az 1. és 9. ábrán

Figure 13. Simplified lineaments on the magnetic anomaly map of Carpathian-Pannonian Region

Black dashed line – simplified lineaments, descriptions of white lines see on Figure 1 and Figure 9

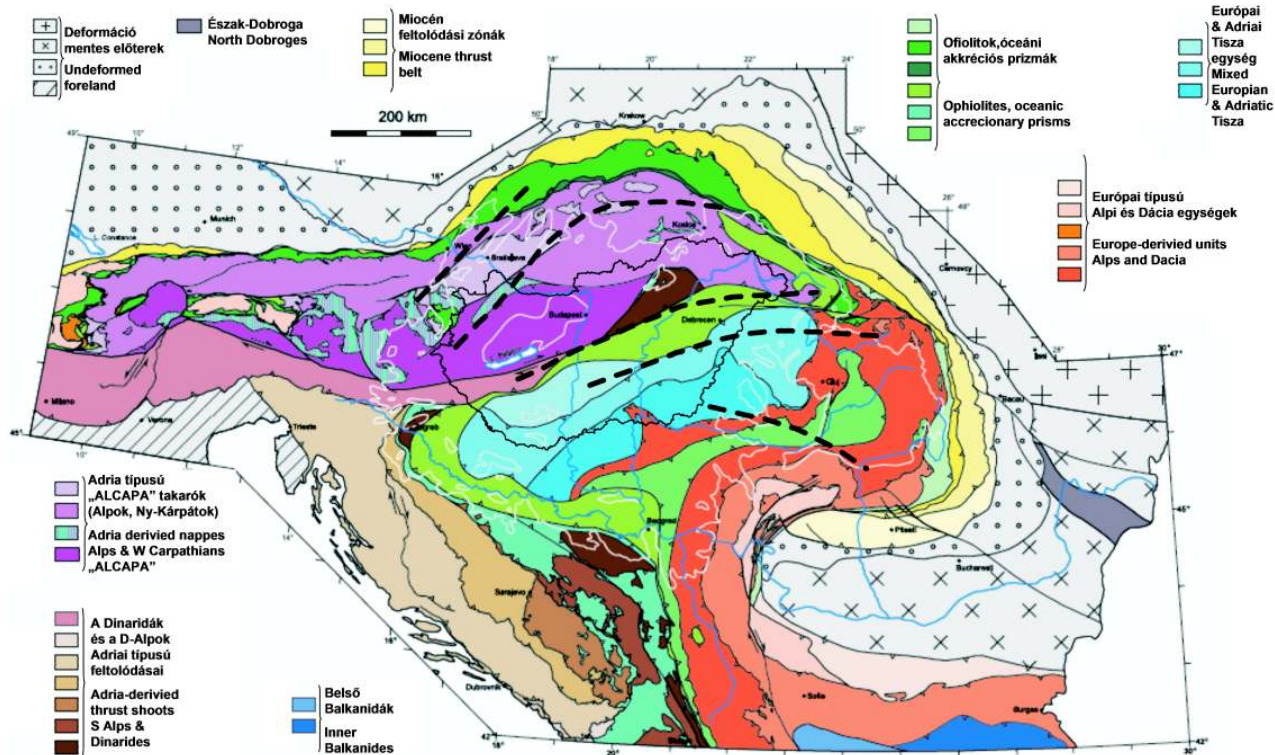


14. ábra. Egyszerűsített lineamensek a Kárpát–Pannon-régió Bouguer-anomália térképén

Fekete szaggatott vonalak – egyszerűsített lineamensek, fehér vonalak magyarázata az 1. és 9. ábrán

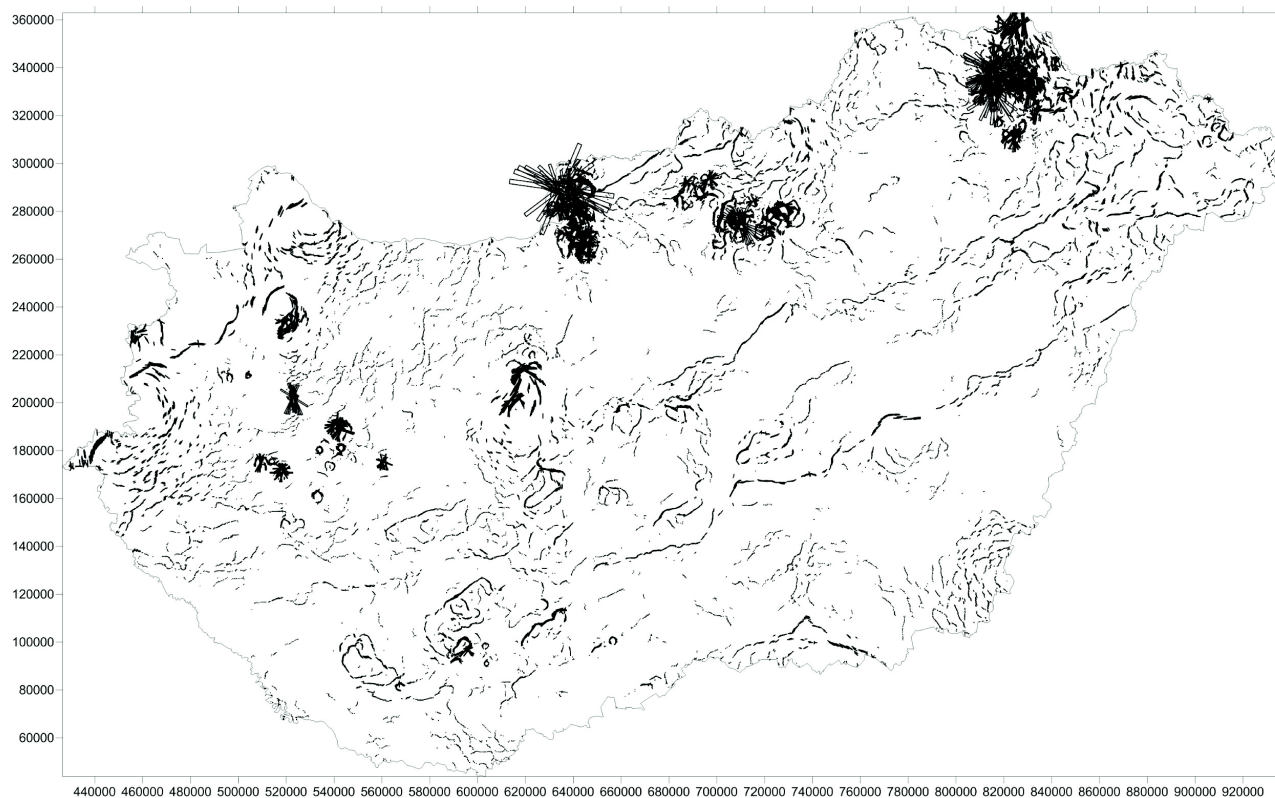
Figure 14. Simplified lineaments on the Bouguer anomaly map of Carpathian-Pannonian Region

Black dashed line – simplified lineaments, descriptions of white lines see on Figure 1 and Figure 9



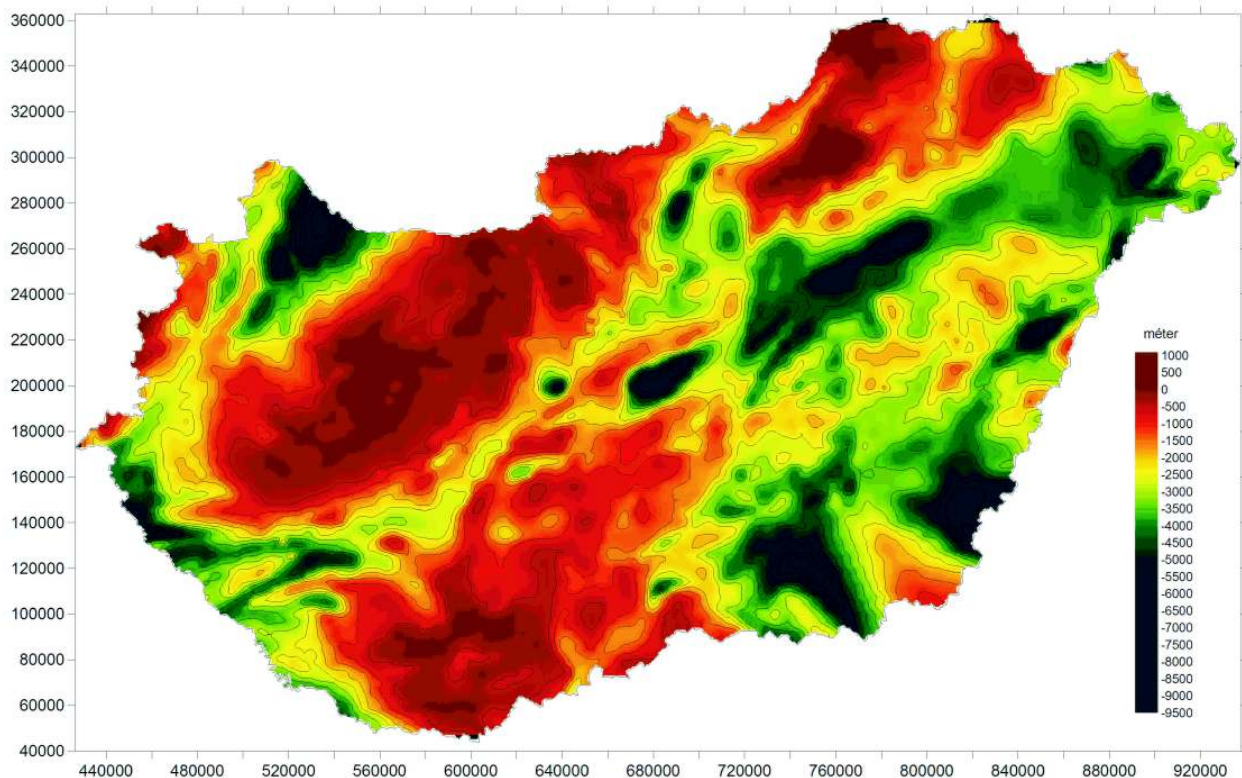
15. ábra. Az Alpok, Kárpátok és Dinaridák főbb tektonikai egységei (SCHMID et al. 2008 után módosítva) az egyszerűsített lineamentekkel

Figure 15. Major tectonic units of the Alps, Carpathians and Dinarides (modified after SCHMID et al. 2008) with the simplified lineaments



16. ábra. Digitális feldolgozásból nyert mágneses hatóperemek Magyarország területén (Kiss 2013a)

Figure 16. Digital data processing, boundaries of magnetic sources based on Hungarian data (Kiss 2013a)



17. ábra. Prekainozoos medencealjzat mélységtérkép (KILÉNYI & SEFARA 1991)

Figure 17. Depth of pre-Cenozoic basement of Hungary (KILÉNYI & SEFARA 1991)

Az egyszerűsített, vizuálisan a régió térképei alapján meghatározott lineamentek és az országos mágneses és gravitációs adatokból készített digitális hatóperem-kijelölések más felbontásban ugyan, de hasonló rajzolatokat mutatnak (18. ábra, 19. ábra). Az ábrán látszik a felszínközeli ismert hatások túlsúlya a hatóperemek esetén, ami a közep-hegységi zónában mindkét térképen dominánsan jelen van, de a hosszan elnyúló vonalas hatóperemek és az egyszerűsített lineamentek kapcsolata elég meggyőző.

A magyarországi magmás képződmények modern, átfogó és egységesített földtani, térinformatikai nyilvántartása még nem áll rendelkezésre, ugyanakkor a mágneses anomáliát okozó hatók anyaga elsősorban bázisos (intruzív és effuzív) magmás és az ezekből képződött metamorf képződmények lehetnek.

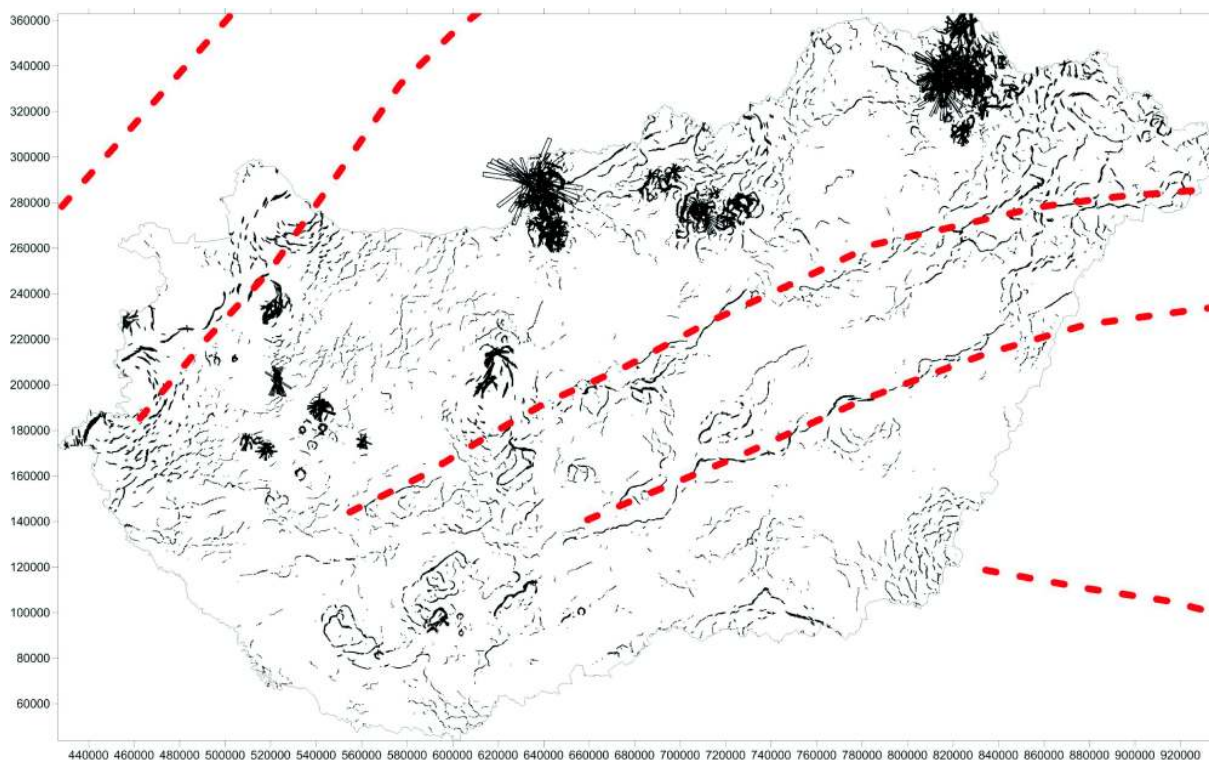
A mélyfúrási adatok részletes elemzése csak a felső, durván 5 km mélységre adja meg a potenciális hatókat, miközben az anomáliát okozó képződmények egy része — például a párhuzamos anomáliapárosták esetében — ennél mélyebben található (Kiss 2015a,b, Kiss et al. 2015a, b). Ezt szemlélteti a 20. ábra, ahol a mágneses hatásokat különböző transzformációkkal kiemeltük (Kiss 2013a) és bázisos képződményeket (bazalt, andezit, diabáz, gabbró, diorit, szerpentin, amfibolit és eklogit) harántoló mélyfúrásokat is pontosan megjelenítettük. Nagyon sok fúrás esik anomáliamentes területre (20. ábra), és sok olyan anomális zóna van, ahol a fúrásokban (a talpig) nem találtak bázisos kőzetet. A korábban publikált, az eltemetett neogén vulkanitokról szóló cikk (ZELENKA et al. 2004) eredményeit, azaz az andezit, diabáz és bazalt elter-

jedéseket is összevetettük a mágneses anomáliákkal, de csak részleges átfedések voltak, ahogy azt a mélyfúrások esetében is tapasztaltuk (Kiss et al. 2015a).

Az erősen mágneses ásványoknak a sűrűsége is számotvető, tehát ahol erős mágneses hatást azonosítunk (pl. 20. ábra, barna színnel megjelenő maximumvonulatok), ott a Bouguer-anomália értéke is várhatóan magasabb lesz.

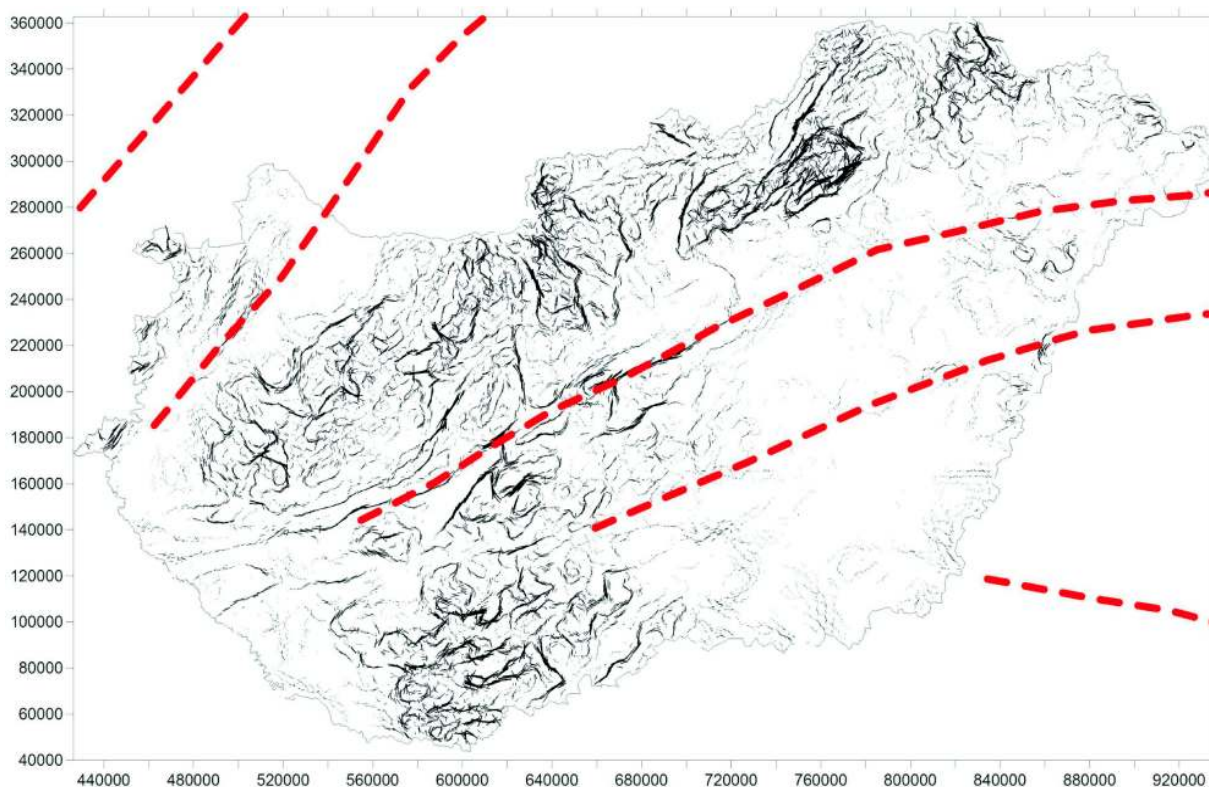
Spektrálanalízis alapján négy mélység-szintet lehetett meghatározni a mágneses anomália térképből (Kiss 2013a). Az első szint az 1200 m-es, a második a 2200 m-es, a harmadik a 11 200 m-es és a negyedik a 27 700 m-es szint. A mágneses anomáliák térfrekvenciája alapján végzett elkülönítésből és a mélység becsléséből látszik, hogy a hatók eredetere mélyfúrások használatával csak az első két mélység-tartomány esetén kaphatunk választ (bővebben lásd Kiss 2013a, 2015a). Ebben a mélység-tartományban csak néhány olyan anomáliát találunk, amelynek a hatója mélyfúrással még elérhető lenne, a többség, a felszíni földtani információink alapján ismertnek tekinthető.

Ennél nagyobb mélység esetén a hatók beazonosítása csak közvetett információk alapján lehetséges. A harmadik szint (11 km-es mélység) sávosan megjelenő hatóinak mélysége már kívül esik a fúrások mélység-tartományán, ezért valami más geofizikai módszer adatait kell segítségül hívni. A litoszférakutató szeizmikus mélység-szelvények behatolási mélysége megfelelő (0–30 km), ilyenek például a CELEBRATION szeizmikus refrakciós tomografikus mérések szelvényei és a „Pannon Geotraverz” mélyszeizmikus reflexiós szelvények (21. ábra).



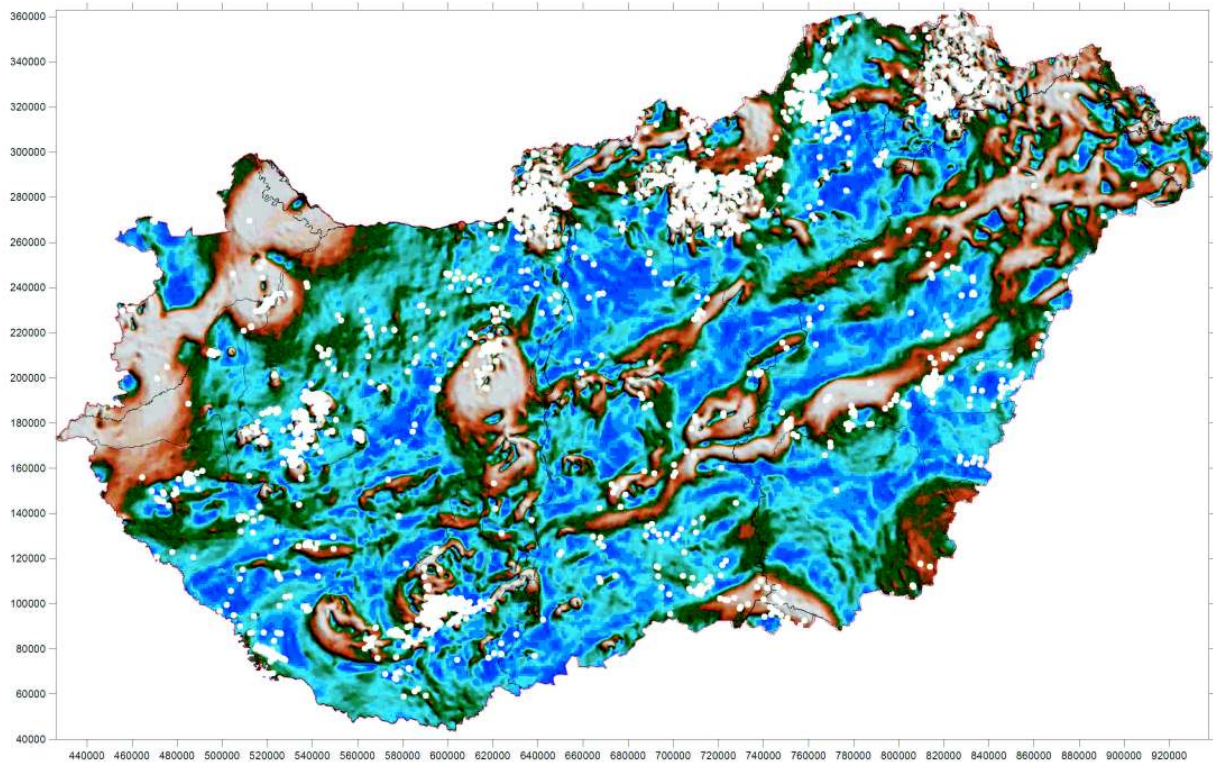
18. ábra. Mágneses hatóperemek az országos adatrendszerből (Kiss 2013a) és kéregszerkezeti vonalak a régió adatai alapján

Figure 18. Magnetic edge detections of Hungary and simplified lineaments of Carpathian-Pannonian Region (Kiss 2013)



19. ábra. Gravitációs hatóperemek az országos adatrendszerből (Kiss 2006) és kéregszerkezeti vonalak a régió adatai alapján

Figure 19. Gravity edge detections of Hungary (Kiss 2006) and simplified lineaments of Carpathian-Pannonian Region



20. ábra. Transzformált mágneses anomália térkép a bázisos képződményeket harántoló mélyfúrásokkal (Kiss 2013a módosítva)

Figure 20. Transformed magnetic anomaly map and boreholes with buried mafic geological formations (Kiss 2013a, modified)

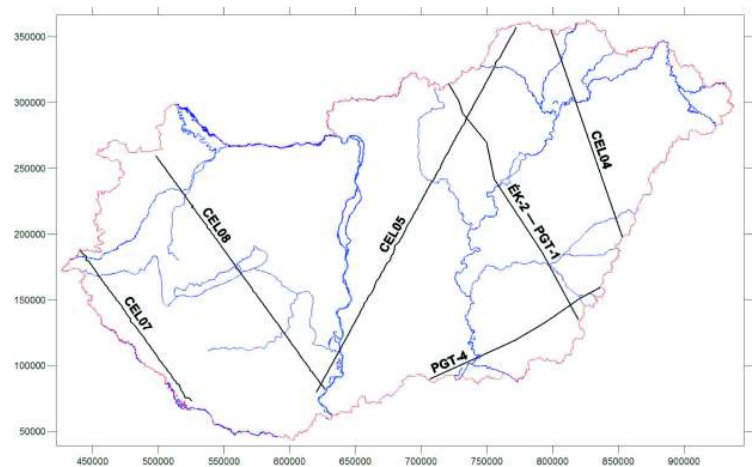
A CEL05 szeizmikus sebességszelvény (22. ábra) Mohácstól Aggtelekgig húzódik, és északon, valahol Recsk magasságában, nagyon szerencsétlenül, hegyes szögben érinti a Darnó-vonalat (oldalhatások lépnek fel). A szelvényen több nagy sebességű anomáliazónát lehet azonosítani 5–10 km-es mélységben. Ezek a zónák valószínűleg nagyobb mélységekben is jelen vannak, azonban a mérés felbontóképessége a mélységgel arányosan romlik, így a sebességeloszlás kb. 10 km alatt már kevésbé informatív. Ha a sebesség-anomáliákat a többi szelvényen is kijelöljük, majd helyzetüket vízszintes, térképi síkon megjelenítjük, akkor ezek többnyire az országos térkép kis amplitúdójú, sávos mágneses anomáliáira esnek (23. ábra).

A MFA és GEOBANK adatbázisok alapján a mélyfúrásokban harántolt bázisos összetételű metamorf képződmények (szerpentin, amfibolit, eklogit) magyarországi elterjedése még egy értelmezésre ad lehetőséget. Ezek a bázisos metamorfotokat fúrt mélyfúrások a Tiszai nagyszerkezeti egység területén jelentkeznek, az egyik hosszan nyomon követhető mágneses anomália vonulattól délre (24. ábra).

Amint korábban jeleztük a mágneses anomáliák bázisos képződményeket, vagy azok peremét jelzik. Ebben az esetben a bázisos metamorfotok a mélyfúrási adatok alapján általánosan elterjedtek az anomália vonulattól délre, de nincsenek jelen, vagy sokkal mélyebb helyzetben

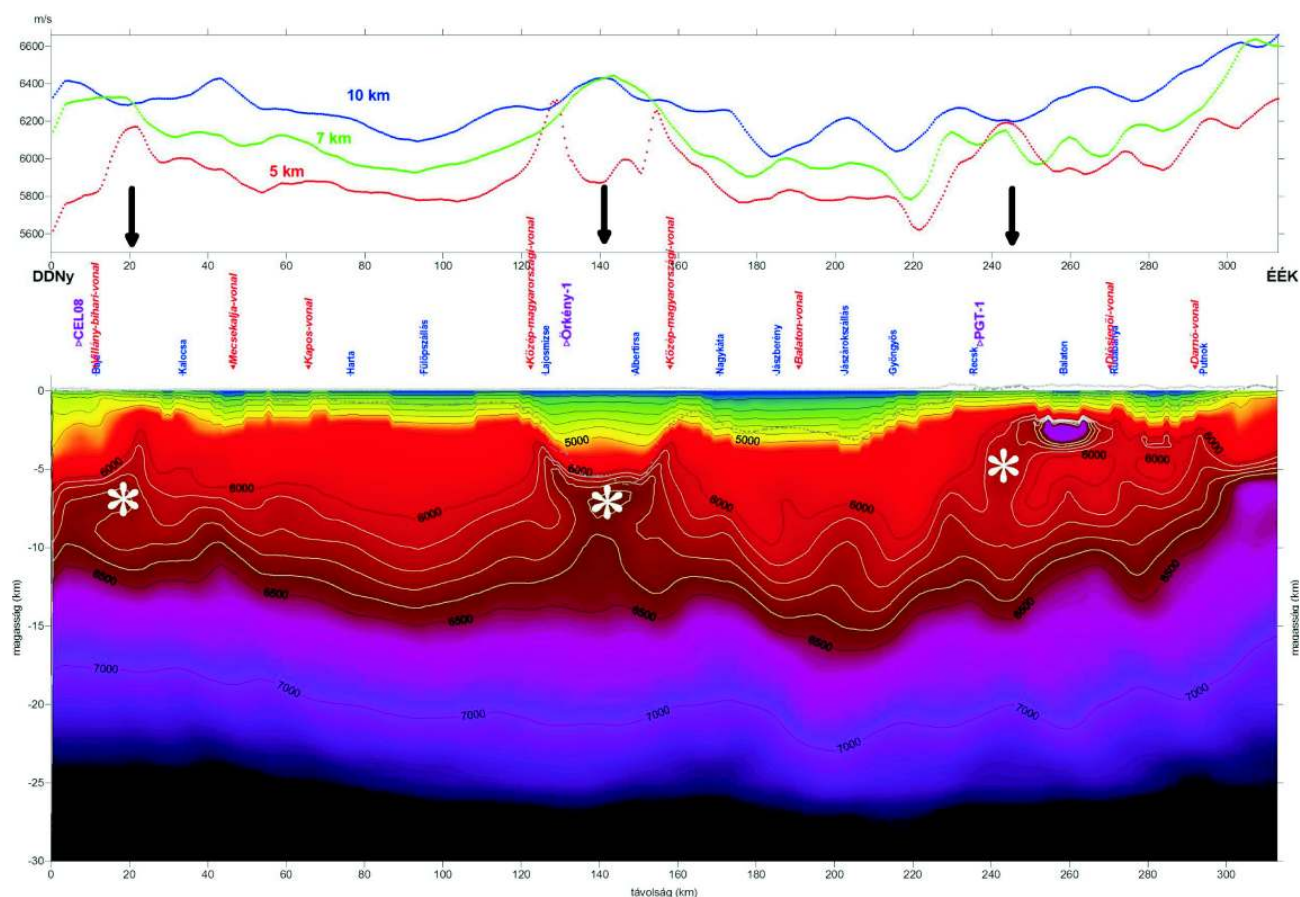
vannak attól északra. Ez szerkezeti, vagy kifejlődésbeli okokra (Alcapa- vs. Tiszai-e.) vezethető vissza, azaz a mágneses anomália vonulat egy határvonal, a bázisos metamorfotok elterjedésének határvonala.

A mágneses modellezések során egy fekvő lemezszerű testnél, a geometriából adódóan a legerősebb mágneses anomália a test pereménél jelentkezik (dipólus tér), miközben a lemez felett gyakorlatilag nincs kimutatható anomália, csak alapszint emelkedés (Kiss 2015a).



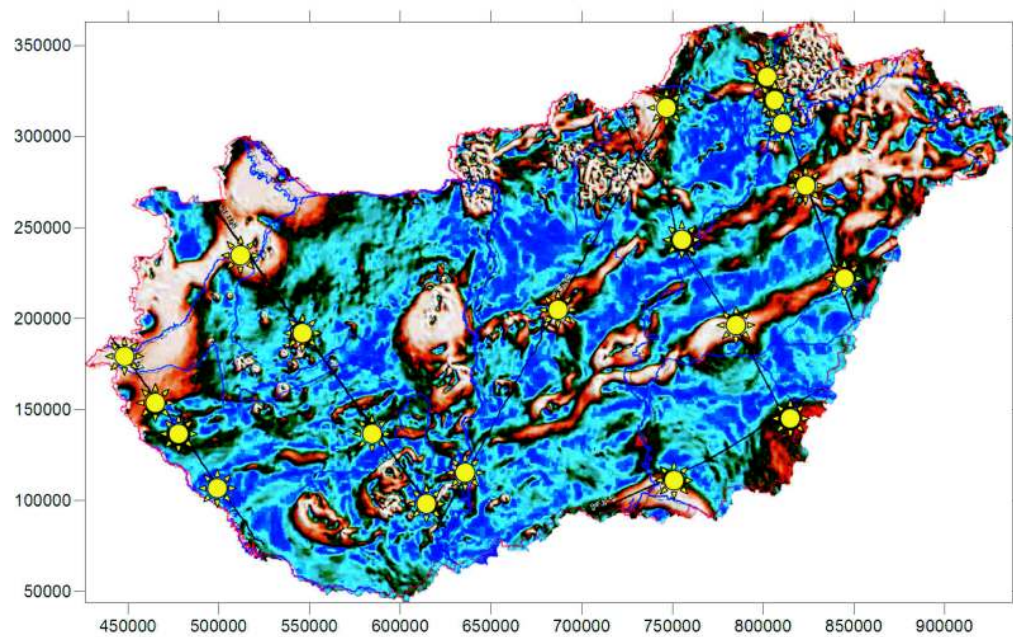
21. ábra. Litoszférakutató CELEBRATION és Pannon Geotraverz projektek szeizmikus szelvényei

Figure 21. Seismic profiles of lithosphere exploration CELEBRATION and Pannon Geotraverse projects



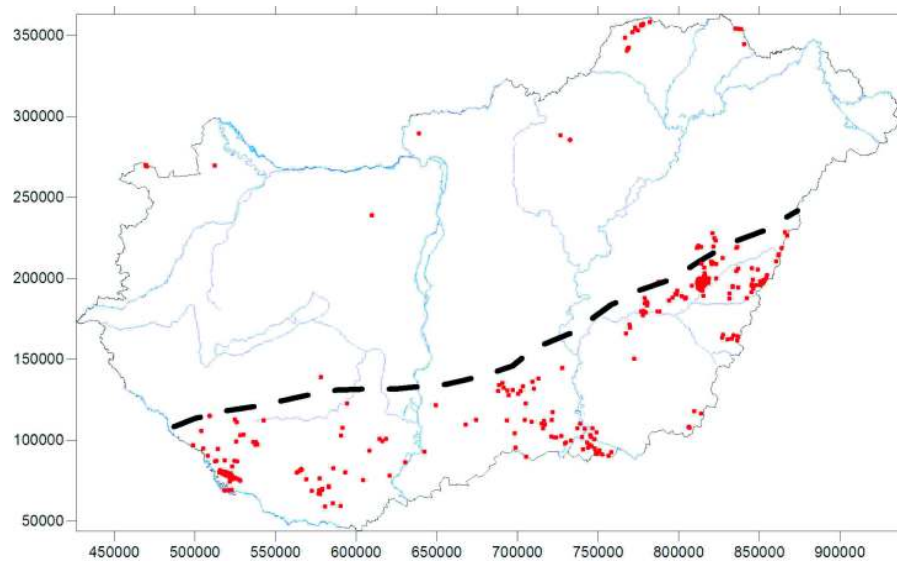
22. ábra. A CEL05 szeizmikus sebességszelvény (alul). Felül az 5, 7 és 10 km-es mélységek sebességgörbéi vannak megjelenítve. A nagysebességű zónák alul csillaggal, felül nyilakkal jelezve

Figure 22. Seismic velocity section CEL05 (below). Above, the velocity value curves at 5, 7 and 10 km depth. High velocity zones showed by arrows (above) and by stars on the velocity section (below)



23. ábra. Nagysebességű zónák helyei a transzformált mágneses anomália térképen. Szeizmikus szelvények Ny-ról K-re: CEL07, CEL08, CEL05, PGT-4, PGT-1, CEL04 (lásd 21. ábra)

Figure 23. The places of high velocity zones on the transformed magnetic anomaly map. Seismic sections from W to E: CEL07, CEL08, CEL05, PGT-4, PGT-1, CEL04 (see on Figure 23)



24. ábra. Bázisos metamorfitek (amfibolit, szerpentinit, eklogit) fűrt mélyfúrások és a határvonalként értelmezhető mágneses anomália tengelyvonala

Figure 24. Boreholes buried mafic metamorphic formations (amphibolites, serpentinites and eclogites) and the boundary of these formations based on magnetic anomaly map

Következtetések

A Kárpát–Pannon-régió gravitációs térképén kirajzolódó regionális anomáliák az izosztázia jelenségével vannak kapcsolatban. Az orogén mozgások során felgyűrődött kőzetek nemcsak kiemelkedtek (hegységek), hanem azok egy része, a tömeg többletsúlya miatt, lefelé nyomódott (gyökérzóna) a nagyobb sűrűségű kéreg/köpeny anyagába az izosztatisztikus egyensúly — az energiaminimumra való törekvés miatt. A kivastagodó kéreg és a Moho-szint elmélyülése miatt gravitációs minimumokat találunk a környező magas hegységek vonalában. Az izosztatisztikus gyökérzónák gravitációs minimumai területileg túlnyúlnak a hegységeken, és a medencék peremrészein torzító oldalhatásként jelentkeznek. Így a legkisebb részterület vizsgálatakor is a kéreg felépítéséből, vastagságából származó mélybeli hatás ott van a mérési anyagban, még akkor is, ha nem veszünk róla tudomást.

A mély medencék kis sűrűségű üledékeinek kompenzálására — az izosztatisztikus egyensúly miatt — a nagyobb sűrűségű köpeny anyaga felemelkedik, így medenceterületeken a kéreg vékonyabb lesz és a kiemelt köpeny (köpenydiapír) miatt gravitációs maximumot tapasztalunk, miközben a környezet, a hegyek miatt, minimum. A Kárpát–Pannon-régió Bouguer-anomália térképének értéktartománya ~250 mGal körüli (2. ábra), Magyarország területén a minimális és maximális Bouguer-értékek között ~60 mGal különbség van mindössze, s a régió legnagyobb értéke is a medence területén található. Ezért lehet a régió léptékében vizsgálódva a Pannon-medence esetében gravitációs maximumról beszélni.

Ezt az izosztázia által meghatározott regionális (kicsit leegyszerűsítve minimum-maximum) képet módosítják a lokális földtani hatások, mint például a medencealjzat mélységének változása, vagy mély kéregszerkezetek (nyírási zónák) hatása, illetve a gyors geodinamikai folyamatok hatására kialakult változások. Ezek közül a medence belsejében a mély, kéregszerkezeti zónák jelentkeznek talán leglátványosabban.

nák) hatása, illetve a gyors geodinamikai folyamatok hatására kialakult változások. Ezek közül a medence belsejében a mély, kéregszerkezeti zónák jelentkeznek talán leglátványosabban.

Az első 3 ellentmondás feloldása:

1. Mélyfúrási adatok alapján az üledékek medencealjzatának domborzata és a Bouguer-anomália görbe eltérő menete.

Az eltérő menet abból adódik, hogy a gravitációs hatás nem a medencealjzat helyzetével van kapcsolatban, hanem egy erősebb, mélybeli hatással. Ilyen például, a felszíni domborzattal negatív korrelációt mutató Moho-felszín (kéreg-köpeny határfelület) hullámlásának gravitációs hatása. A Moho-felszín hullámlása akár ellentétre is változtathatja a Bouguer-anomália görbe menetét. Ez a hatás, feltételezve az izosztatisztikus egyensúlyt, kiszámítható. Amennyiben az izosztatisztikus korrekció nem oldja fel az ellentmondást, úgy számunkra ismeretlen, nagy sűrűségű kéregbeli képződménnyel kell számolnunk az adott kutatási területen.

2. Mély üledékes medencék felett tapasztalt gravitációs maximumok.

A Pannon-medence belsejében a medencealjzat és a medenceüledékek közötti sűrűségkontraszt a mélységgel arányosan csökken és 2–3 km-es mélységnél elenyészik. Ettől a mélységtől a gravitációs anomáliákat a kéreg inhomogenitásából és a kéreg-köpeny határfelület hullámlásából származó hatások fogják meghatározni. A gravitációs Bouguer-anomália kezdeti, medencealjzattól való függése után, a Moho határfelülettől való függés váltja fel. Ezt szemléltetik például a PGT-1 szeizmikus litoszférakutató szelvény mentén végzett komplex adatfeldolgozások is (Kiss 2012c). Az izosztatisztikus korrekció alkalmazásával a mély medencékben tapasztalt maximumok jelentős része eltűnik a Bouguer-anomália térképről.

3. Nagy amplitúdójú gravitációs minimumok a Közép-magyarországi zónában.

A Közép-magyarországi nagyszerkezeti zóna kettészeli Magyarországot. A medencealjzatban árkos mélyedés van, de az árok nem olyan mély, mint a Dél-Alföld vagy a Kisalföld egyes részei, tehát a medencealjzat lefutásával ez a minimum nem magyarázható meg teljesen. Ez a zóna egy jobbos eltolódás — az Alcapa- és a Tiszai-egységek között kialakult széles nyírási zóna. A nyírási zóna mentén a kéreg közei fellazultak, megnőtt bennük a pórustérfogat, ami jelentős, de nem összefüggő Bouguer-anomália minimumokat okoz. A feldolgozásaink szerint (Kiss 2012b) a nagy mélységek gravitációs anomáliáit mutató frekvenciaszűrt térképeken is markánsan jelen van ez a hatás.

A Kárpát–Pannon-régió mágneses anomália térképét elemezve a lokális mágneses hatók mellett hosszan elnyúló anomália vonulatokat lehet azonosítani. Ezek a jellegzetességek az országos, sűrűbb mágneses adatrendszeren is felismerhetők. A spektrális vizsgálatok alapján ezek a vonulatok 10 km körüli mélységtartomány hatóihoz köthetők. A hatást okozó képződmények közvetlenül, mélyfúrással már nem érhetők el, csak más módszerek mérési adatai adhatnak róluk további információkat. Ilyenek a litoszférakutató szeizmikus szelvények, amelyek ezt a mélységtartományt vizsgálták, s amelyek nagy sebességű zónákat jeleznek a mágneses anomália vonulatok alatt. A nagy, alsó-kéregre jellemző sebesség, bázisos összetételre utal, a bázisos képződmény viszont mágneses hatóként jelenik meg a felső-kéregben, a Curie-hőmérséklet feletti mélységtartományokban (Kiss 2013a, 2015a, b, Kiss et al. 2015a, b). A szeizmikus sebességszelvények alapján az anomáliák az 5–10 km közötti mélységtartományban azonosíthatók, de lokálisan ennél kisebb mélységben is megjelenhetnek.

Az utolsó, a 4. ellentmondás és annak feloldása tehát:

4. *Összefüggő mágneses anomáliapászták a Közép-magyarországi-zóna és részben a Tiszai-egység mentén, ott, ahol a fúrások alapján főleg vulkáni törmelékes összletekről van tudomásunk, amelyek alig mágnesesek.*

Az anomáliák hatója nem az ismert eltemetett kainozoos vulkanit. A hosszan követhető, sávos mágneses anomáliák hatója a spektrális mélység-meghatározás, valamint a litoszférakutató szeizmikus szelvények sebességeloszlása alapján a fúrások behatolási mélységénél mélyebben elhelyezkedő nagysebességű bázisos magmás és/vagy metamorf képződmények vonulata, esetleg azok pereme — vízszintes lemezmodell feltételezve.

Olyan mélységtartományokat és hatásokat vizsgáltunk, ahonnan nincsenek közvetlen földtani információink. A geofizikának köszönhetően közvetett információink vannak, amelyek segítségével több érdekes, ellentmondásosnak tűnő jelenség magyarázatát sikerült megtalálni. A vizsgálatoknál a lépték és a mérési adatok sűrűsége (a felmérés) erősen behatárolják lehetőségeinket, így feldolgozásainkból nem várható részletes vető-kinematikai ismertetés például a kéregszerkezeti zónákról.

A geodinamikai mozgások nyomai (végső lenyomata) az anomália térképen megítélésünk szerint jelen vannak, de a mozgásokra a háttér információk felhasználásával lehet csak következtetni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az ELGI hosszú évekre visszanyúló geofizikai adatkezelési tevékenységét (Földfizikai és Térképezési Főosztályok), valamint a módszertani kutatásait (erőtér-geofizikai és szeizmikus módszertani kutatások; litoszférakutatás), amelyek lehetővé tették, hogy jobban megértsük hazánk mélyföldtani felépítését, adott esetben a gravitációs és mágneses adatokon keresztül.

Köszönettel tartozom lektoraimnak is, akik végtelen türelemmel javították, illetve részben pótolták cikkem hiányosságait és felhívták a figyelmemet a pontatlan, félreérthető megfogalmazásokra.

Irodalom — References

- AIRY, G. B. 1855: On the computation of the effect of the attraction of mountain masses as disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys. — *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **145**, 101–104.
- BADA, G., HORVÁTH, F., FEJES, I. & GERNER, P. 1999: Review of the present-day geodynamics of the Pannonian basin: progress and problems. — *Journal of Geodynamics* **27**, 501–527.
- BADA, G., HORVÁTH, F., DÖVÉNYI, P., SZAFIÁN, P., WINDHOFFER, P. & CLOETHING, S. 2007: Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian Basin. — *Global and Planetary Change* **58**, 165–180.
- BALLA, Z. 1982: Development of the Pannonian Basin basement through the Cretaceous–Cenozoic collision: a new synthesis. — *Tectonophysics* **88/2**, 61–102.
- BALLA, Z. 1984: The Carpathian loop and the Pannonian basin: A kinematic analysis. — *Geophysical Transactions* **30/4**, 313–353.
- BIELIK, M., KLOSKA, K., MEUERS, B., SVANCARA, J., WYBRANIEC, S., FANCSIK, T., GRAD, M., GRAND, T., GUTERCH, A., KATONA, M., KROLIKOWSKI, Cz., MIKUSKA, J., PASTEKA, R., PETECKI, Z., POLECHONSKA, O., RUESS, D., SZALAJOVA, V., SEFARA, J. & VOZAR, J. 2006: Gravity anomaly map of the CELEBRATION 2000 region. — *Geologica Carpathica* **57/3**, 145–156.
- BILIK, I. 1966: A Mecsek-hegységi alsó kréta vulkanitok nevezéktani kérdései. — *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1964. évről*, 59–74.
- DOGLIONI, C. 1990: The global tectonic pattern. — *Journal of Geodynamics* **12/1**, 21–38.

- FLETCHER, K. M. U., FAIRHEAD, J. D., SALEM, A., LEI, K., AYALA, C. & CABANILLAS, P. L. M. 2011: Building a higher resolution magnetic database for Europe for resource evaluation. — *First Break* **29**, 41–47.
- FODOR L. 2010: Mezozoos–kainozoos feszültségmezők és törésrendszerek a Pannon-medence ÉNy-i részén — módszertan és szerkezeti elemzés. — *Akadémiai doktori értekezés*, MTA, Budapest, 167 p.
- FODOR L. & CSONTOS L. 1998: Magyarországi szerkezetföldtani kutatások és ezek legújabb eredményei. — *Földtani Közlöny* **128/1**, 123–143.
- FODOR, L., CSONTOS, L., BADA, G., GYÖRFI, I. & BENKOVICS, L. 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data. — In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen. Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 1–156.
- FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVÁTH, E., RUSZKICZAI-RÜDIGER, ZS. PALOTÁS, K., SÍKHEGYI, F. 2005: New data on neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian basin. — In: FODOR L. & BREZSNYÁNSZKY, K. (eds): *Proceedings of the workshop on „Application of GPS in plate tectonics, in research on fossil energy resources and in earthquake hazard assessment”. Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary* **204**, 35–44.
- GRENERCZY Gy. 2005: Crustal motions from space geodesy: a review from EPN, CEGRN, and HGRN data. — *Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary* **204**, 31–34.
- HORVÁTH, F. 1993: Towards a mechanical model for the Pannonian Basin. — *Tectonophysics* **226**, 333–358.
- HORVÁTH F. 2007: A Pannon-medence geodinamikája: eszméletörténeti tanulmány és geofizikai szintézis. — *Akadémiai doktori értekezés*, MTA, Budapest, 238 p.
- HORVÁTH F., BADA G., WINDHOFFER G., CSONTOS L., DÖVÉNYI P., FODOR L., GRENERCZY Gy., SÍKHEGYI F., SZAFIÁN P., SZÉKELY B., TIMÁR G., TÓTH L. & TÓTH T. 2004: A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza, Euro-konform térképsorozat és magyarázó. — http://geophysics.elte.hu/atlas/geodin_atlas.htm
- JANIK, T., GRAD, M., GUTERCH, A., VOZÁR, J., BIELIK M., VOZÁROVA, A., HEGEDŰS, E., KOVÁCS, Cs. A., KOVÁCS, I. & KELLER, G. R. 2011: Crustal structure of the Western Carpathians and Pannonian Basin: Seismic models from CELEBRATION 2000 data and geological implications. — *Journal of Geodynamics* **52/2**, 97–113.
- KÁZMÉR, M. & KOVÁCS, S. 1985: Permian–Paleogene Paleogeography along the Eastern part of the Insubric–Periadriatic Lineament system: Evidence for continental escape of the Bakony–Drauzug Unit. — *Acta Geologica Hungarica* **28**, 71–84.
- KILÉNYI, É. & SEFARA, J. 1991: Pre-Tertiary Basement Contour Map of Carpathian Basin Beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. — *Geophysical Transactions* **36/1–2**, 15–36.
- KISS J. 2006: Magyarország gravitációs lineamenstérképe — első eredmények. — *Magyar Geofizika* **47/2**, 1001–1010.
- KISS J. 2009: Regionális gravitációs anomáliák, izosztatikus hatások Magyarországon. — *Magyar Geofizika* **50/4**, 153–171.
- KISS J. 2010: Mély medencék izosztatikus hatása. — *Magyar Geofizika* **51/3**, 1–13.
- KISS J. 2012a: Lehetséges izosztatikus hatások a Kárpát-medencében. — In: MIKA J., DÁVID Á., PAJTÓKNÉ TARI I. & FODOR R. (eds): *HUNGEO 2012 Magyar Földtudományi Szakemberek XI. Találkozója, Eger 2012. augusztus 20–25*, 39–44.
- KISS J. 2012b: A Kárpát-Pannon régió Bouguer-anomália térképének frekvenciatartománybeli vizsgálata és értelmezése. — *Magyar Geofizika* **53/4**, 236–257.
- KISS J. 2013a: Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások. — *Magyar Geofizika* **54/2**, 89–114.
- KISS J. 2013b: A Pannon–Kárpát régió gravitációs képe — geodinamikai vonatkozások. — In: KRIVÁNNÉ HORVÁTH Á. (ed): *Földtudományi Vándorgyűlés és Kiállítás, Veszprém 2013. július 4–6*, p. 25.
- KISS J. 2014a: A Kárpát-Pannon régió gravitációs képe — geodinamikai vonatkozások. — *Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Évi Jelentése 2012–2013*, 113–126.
- KISS J. 2014b: Magyarország Bouguer-anomália térképének frekvenciatartománybeli vizsgálata és értelmezése. — *Magyar Geofizika* **55/4**, 163–178.
- KISS J. 2014c: Lemeztekonika, vulkanizmus és a Kárpát-Pannon régió geomágneses anomália térképe. — *Magyar Geofizika* **55/2**, 1–31.
- KISS J. 2015a: A Pannon-medence geomágneses anomáliái és a mélyfúrással feltárt bázisos földtani képződmények kapcsolata. — *Magyar Geofizika* **56/1**, 21–42.
- KISS J. 2015b: Kép, térkép, szelvény — litoszféra a geofizikai adatok alapján. A litoszféra-kutatás legfrissebb hazai eredményei. — MFGI előadóiülés, Budapest, 2015. november 26. (http://elginform.elgi.hu/publication/KissJ/Presentations/KJ_litoszfera15.pptx)
- KISS J. & GULYÁS Á. 2006: Magyarország mágneses ΔZ anomália térképe, M=1:500 000-es nyomtatott térkép. — ELGI kiadvány, Budapest.
- KISS J. & MADARASI A. 2012: A PGT–1 szelvény komplex geofizikai vizsgálata (nem szeizmikus szemmel). — *Magyar Geofizika* **53/1**, 29–54.
- KISS J. & PRÁCSER E. 2014: Kárpát-Pannon régió a potenciáltér adatok tükrében. — In: *HUNGEO–2014, Magyar Földtudományi Szakemberek XII. Találkozója — Cikkgyűjtemény, Debrecen 2014. augusztus 20–24*, 148–151.
- KISS, J., PRÁCSER, E., VÉRTESY, L., GULYÁS, Á. 2011: Last decade gravity data processing in the ELGI. — *6th Congress of Balkan Geophysical Society, Budapest 2011. Oct. 3–6* (oral presentation, B16, http://elginform.elgi.hu/publication/KissJ/BGS_2011_B16.pdf)
- KISS J., VÉRTESY L., GULYÁS Á., KOVÁCS A. Cs. & FANCSIK T. 2015a: Bázisos földtani képződmények és a mágneses anomáliák. — *MGE 34. Vándorgyűlés, Budapest 2015. 09. 24–25*. (http://elginform.elgi.hu/publication/MGE_vandorgyules2015_cikkgyujtemeny.pdf)
- KISS J., VÉRTESY L., GULYÁS Á., MADARASI A. 2015b: Tisia — a geofizikai adatok tükrében. — *TISIA Konferencia kiadványa*, 25–28.
- KOVÁCS I., FALUS Gy., STUART G., HIDAS K., SZABÓ Cs., FLOWER M., HEGEDŰS E., POSGAY K., ZILAHÍ-SEBESS L. & FANCSIK T. 2011: Asztenoszféraáramlás mint a terciér kilökődés és extenzió hajtóereje? — *Magyar Geofizika* **52/2**, 79–87.
- KOVÁCSVÖLGYI S. 1995: DK-Magyarország gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése. — *Magyar Geofizika* **36/3**, 198–202.

- KOVÁCSVÖLGYI S. 1997: Gravitációs kutatások Magyarországon. A békési rejtély. — *Élet és Tudomány* **52/18**, 551–553.
- MÁRTON, E. 1985: Tectonic implications of paleomagnetic results for the Carpath-Balkan areas. — In: ROBERTSON, A. H. E. & DIXON, J. E. (eds): The geological evolution of the Eastern Mediterranean. — *Geological Society, London, Special Publications* **17**, 645–654.
- MÁRTON, E., RAUCH-WŁODARSKA, M., KREJCI, O., TOKARSKI, A. K. & BUBÍK, M. 2009: An integrated palaeomagnetic and AMS study of the Tertiary flysch from the Outer Western Carpathians. — *Geophysical Journal International* **177**, 925–940.
- MÉSZÁROS, F. & ZILAHÍ-SEBESS, L. 2001: Compaction of the sediments with great thickness in the Pannonian Basin. — *Geophysical Transactions* **44/1**, 21–48.
- MITUCH, E. & POSGAY, K. 1972: 28. Hungary. — In: SZÉNÁS, Gy. (ed.): Crustal Structure of Central and Southeastern Europe Based on the Results of Exploration Seismology. — *Geophysical Transactions, Special Issue*, 118–129.
- NEMESI L., DUDÁS J., DRASKOVITS P., HOBOT J., VARGA P.-NÉ, TÓTH Cs., KOVÁCSVÖLGYI S., MILÁNKOVICH A., PÁPA A., STOMFAI R. & VARGA G. 1995: A Kisalföld geofizikai kutatási eredményeinek összefoglalása. — *Geophysical Transactions* **39/2–3**, 91–94.
- O'LEARY, D. W. & SIMPSON, S. L. 1977: Remote Sensor Applications to Tectonism and Seismicity in the Northern Part of the Mississippi Embayment. — *Geophysics* **42/3**, 542–548.
- POSGAY, K., ALBU, I., MAYERKOVA, M., NAKLADALOVA, Z., IBRMAJER, I., BLIZKOVSKY, M., ARIC, K. & GUTDEUTSCH, R. 1991: Contour map of the Mohorovičić discontinuity beneath Central-Europe. — *Geophysical Transactions* **36/1**, 7–13.
- POSGAY K., ALBU I., ÁDÁM A., BÉRCZI I. & HEGEDÜS E. 1995a: A terciér medence aljzatának geofizikai kutatása. — *Magyar Geofizika* **36/különszám**, 27–36.
- POSGAY, K., BODOKY, T., HEGEDÜS, E., KOVÁCSVÖLGYI, S., LENKEY, L., SZAFIÁN, P., TAKÁCS, E., TIMÁR, Z. & VARGA, G. 1995b: Asthenospheric structure beneath a Neogene basin in southeast Hungary. — *Tectonophysics* **252**, 467–484.
- PRATT, J. H. 1855: On the attraction of the Himalaya Mountains and of the elevated regions beyond them upon the plumbline in India. — *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **145**, 53–100.
- ROYDEN, L. & BALDI, T. 1988: Early Cenozoic tectonics of the Pannonian Basin system. — In: ROYDEN, L. H., HORVÁTH, F. (eds): The Pannonian Basin. *AAPG Memoir* **45**, 27–48.
- ROYDEN, L., HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1983: Evolution of the Pannonian Basin System: 1. Tectonics. — *Tectonics* **2/1**, 63–90, doi:10.1029/TC002i001p00063.
- SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTASZEWSKI, K. 2008: The Alps–Carpathians–Dinarides-connection: a correlation of tectonic units. — *Swiss Journal of Geosciences* **101/1**, 139–183.
- SULLIVAN W. 1985: *A vándorló kontinensek*. — Gondolat Kiadó, Budapest, 388 p.
- SZABÓ, Z. & PÁNCICS, Z. 1999: Rock densities in the Pannonian basin – Hungary. — *Geophysical Transactions* **42/1–2**, 5–28.
- SZAFIÁN, P. & HORVÁTH, F. 2006: Crustal structure in the Carpatho–Pannonian region: insights from three-dimensional gravity modelling and their geodynamic significance. — *International Journal of Earth Sciences* **95**, 50–67.
- SZAFIÁN, P., HORVÁTH, F. & CLOETHING, S. 1997: Gravity constraints on the crustal structure and slab evolution along a transcarpathian transect. — *Tectonophysics* **272**, 233–247.
- SZAFIÁN, P., TARI, G., HORVÁTH, F. & CLOETHING, S. 1999: Crustal structure of the Alpine–Pannonian transition zone: a combined seismic and gravity study. — *International Journal of Earth Sciences* **88**, 98–110.
- TANASOIU, M., RADOVICI, I. & PETRISOR, D. 1983: Republica Socialista Romania, Harta Magnetica Anomalia componente Verticale (ΔZ_v), Scara 1 : 1 000 000. — Ministerul Geologiei Institutul De Geologie si Geofizica.
- TARI, G. 1994: *Alpine tectonics of the Pannonian Basin*. — PhD. thesis, Rice University, Houston, 501 p.
- TÓTH L. & ZSÍROS T. 2002: A Pannon-medence szeizmicitása és földrengéskockázata. — In: „Magyarország földrengésbiztonsága” *Mérnökszeizmológiai Konferencia, Széchenyi István Egyetem, Szerkezetépítési Tanszék, Győr*, 129–138.
- ZELENKA, T., BALOGH, K., KOZÁK, M., PÉCSKAY, Z., RAVASZ, Cs., ÚJFALUSSY, A., BALÁZS, E., KISS, J., NEMESI, L., PÜSPÖKI, Z. & SZÉKY-FUX, V. 2004: Buried Neogen volcanic structures in Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **47/2–3**, 177–219.

Kézirat beérkezett: 2015. 12. 22.

Végjegyzet

- ¹ Curie-hőmérséklet — e hőmérséklet felett a ferromágneses anyag elveszti mágneses tulajdonságait és paramágnesessé válik.
- ² Azokban az országokban, ahol nincsenek mély üledékes medencék, a gravitációs méréseket szinte kizárólag a Moho térképezésére használják.
- ³ A geofizikai anomáliagörbék különböző hullámhosszúságú jelekből állnak. Az anomália térfrekvenciájának a hullámhosszúság reciproka értékét nevezzük (analógia a hagyományos frekvenciával, ami a periódusidő reciproka értéke). Ennek megfelelően nagyfrekvencia kis hullámhosszúságú, a kisfrekvencia nagy hullámhosszúságú anomáliát jelent. Kisfrekvenciás anomáliát a mélybeli, nagyfrekvenciás anomáliát a felszínközeli hatók okoznak. A spektrálanalízis az anomáliák térfrekvencia eloszlását vizsgálja, meghatározza, hogy az egyes térfrekvenciák milyen mértékben vannak jelen az anomáliákban. A vizsgálat eredménye a spektrum.
- ⁴ A frekvenciatartománybeli szűrések az anomáliák térfrekvencia szerinti szűrése. Különböző mélységű hatók tere összeadódik, így az eredeti anomáliagörbén nehéz a hatásokat elkülöníteni. A spektrálanalízis során kiszámolt spektrumot felhasználva lehet a különböző szűrőket megtervezni és az egyes hatások mélységét megbecsülni. A magyarországi mágneses és gravitációs adatok spektrálanalízisének eredményét Kiss (2013a, 2014b) cikkei mutatják be.
- ⁵ IGSN71 — az Európai gravitációs alapszintet és normál teret leíró szabvány. WGS-84 — alkalmazott geodéziai vonatkoztatási rendszer.
- ⁶ Szerbia területe adathiányos, csak az interpolálásnak köszönhetően nem üres!
- ⁷ Ez már korábban is megfigalmazódott, de egyrészt akkor még senki nem számolta ki az izosztikus hatásokat a Kárpát–Pannon-

régióra, másrészt a mély medencék által okozott köpeny-kiemelkedéseket nem ismerték fel. A kétdimenziós (szelvény menti) modellezések eredményeiből pedig, nem állt össze a teljes modell.

⁸ A kőzetek sebesség- és sűrűségértékei a Föld belsejében a mélységgel egyenesen arányosan változnak, azaz ha növekszik a sebesség, akkor nő a sűrűség értéke is. Néhány kivételtől eltekintve ez egy általános érvényű törvényszerűség.

⁹ Lineaments — olyan egyszerű, vagy összetett lineáris jelenség, amely a környezetétől jól elkülönülő folyamatos alakzattá áll össze, és feltehetően felszín alatti jelenséget tükröz (O'LEARY & SIMPSON 1977).

¹⁰ A szutura definíciója: *In structural geology, a suture is a joining together along a major fault zone, of separate terranes, tectonic units that have different plate tectonic, metamorphic and paleogeographic histories. The suture is often represented on the surface by an orogen or mountain range.* [https://en.wikipedia.org/wiki/Suture_\(geology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Suture_(geology))

¹¹ BILIK (1966) állapította meg elsőként azt a tényt, hogy a mecseki alsó-kréta magmás kőzetek kontinentális riftesedés során keletkeztek. Ezek a kréta alkáli bazaltok KÉK irányban az Alföld mélyén tovább követhetők.

¹² Bázisos metamorfizmus — bázisos magmás kőzetből képződött metamorf kőzet.